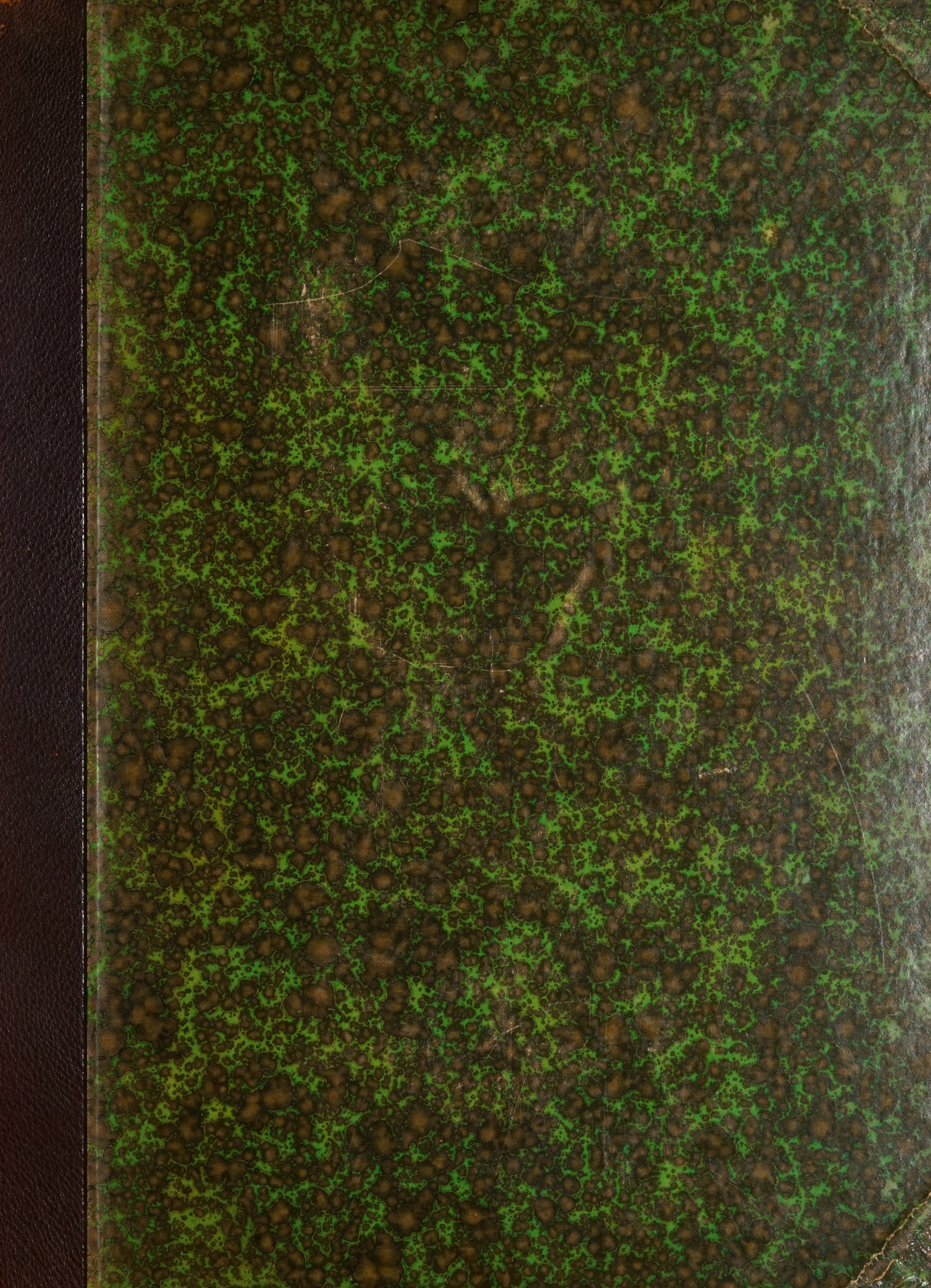
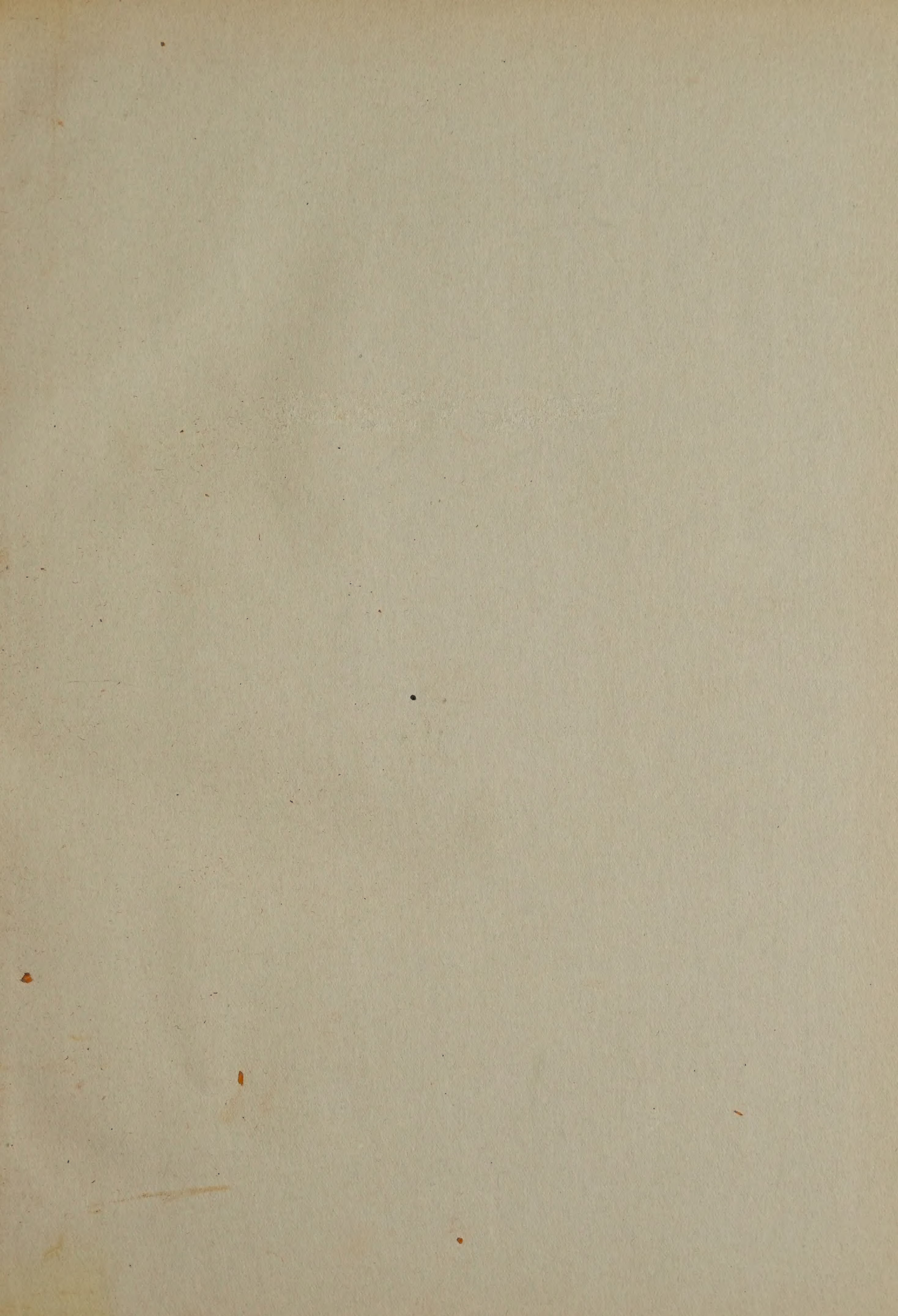
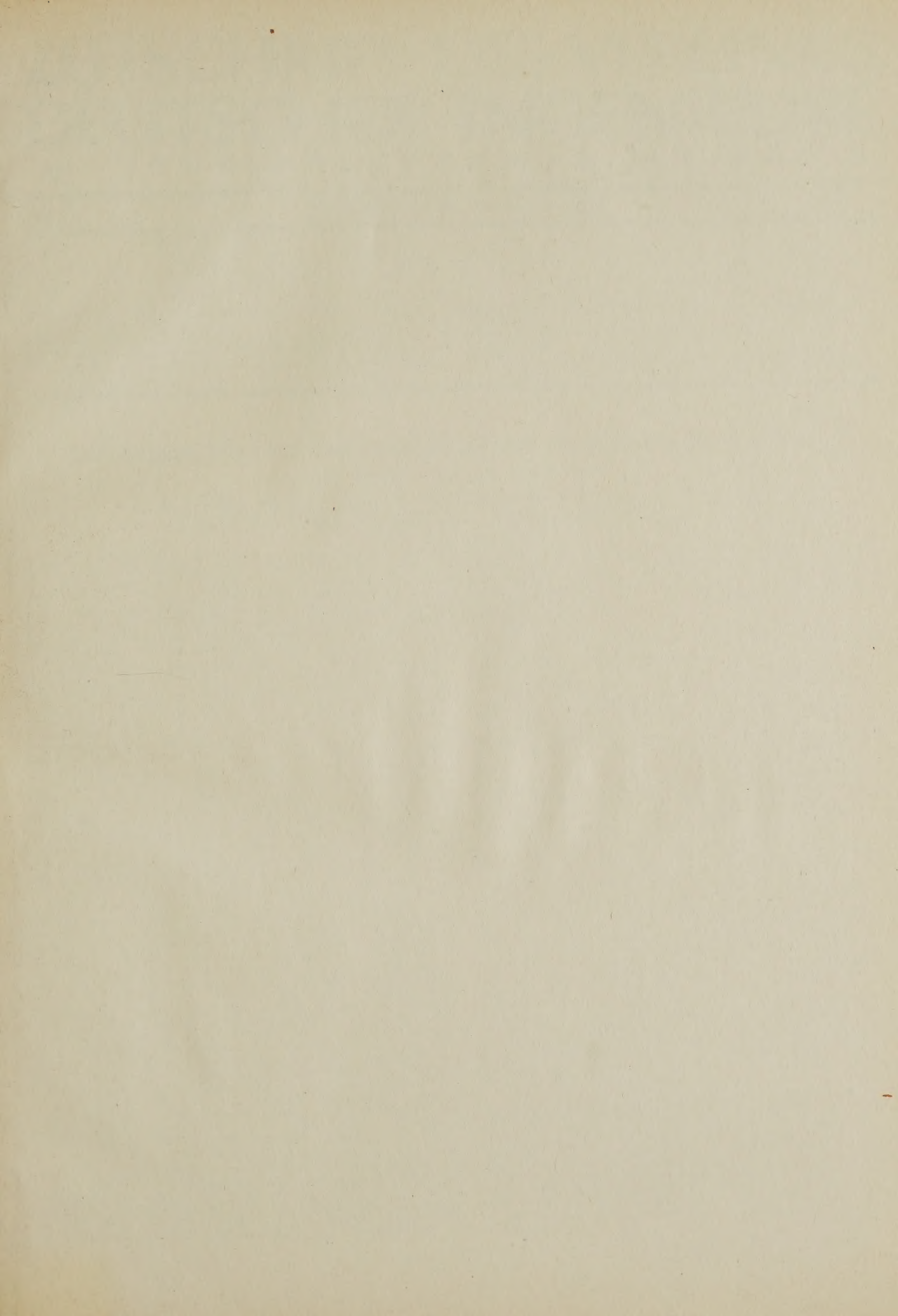
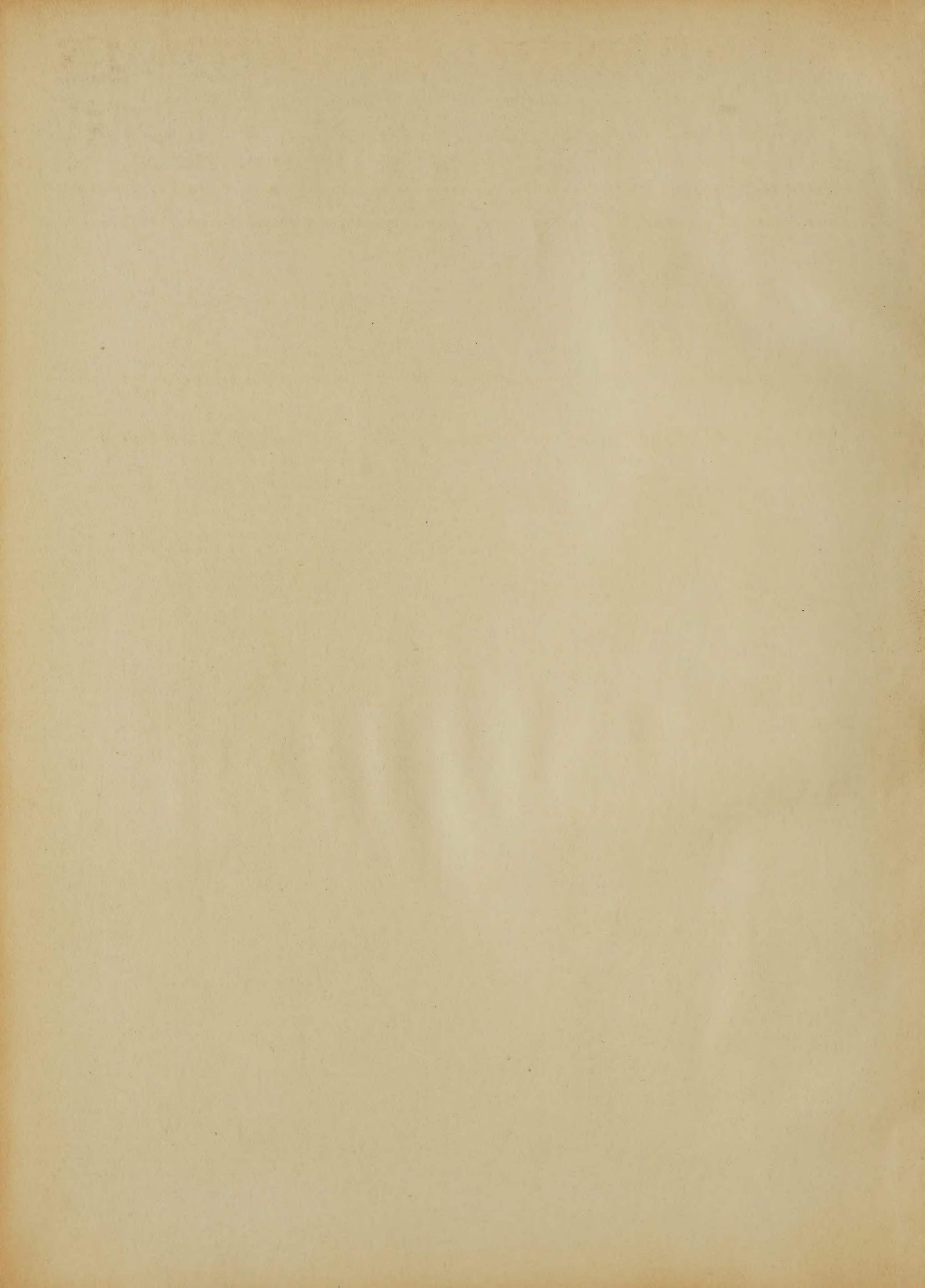










ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 1 SONNABEND, 5. JANUAR 1924 BD. 68

INHALT

Beziehungen zwischen der chemischen und der mechanischen Industrie.

Von Reg.-Baumeister A. Krauß, Ludwigshafen a. Rh.

Die wichtigsten Gesichtspunkte für die Konstruktion der Apparate und Maschinen. — Bedeutung der Materialkunde und Verhalten der wichtigsten Baustoffe. — Bedeutung von Wärmewirtschaft, Gastechnik und Förderanlagen. — Die wichtigsten Wärmeverbraucher. — Betriebskontrolle. — Aufgaben des Ingenieurs.

Die Anforderungen an Maschinen und Apparate in der chemischen Industrie sind weiten Kreisen der Ingenieure heute noch wenig bekannt. Je mehr die chemische Industrie sich zur Großindustrie entwickelt hat, um so größer wurden die Aufgaben, die die Maschinenindustrie für sie zu lösen hatte. Vor allem hat die anorganische Großchemie dem Ingenieur neuartige Aufgaben gestellt, die heute noch nicht alle gelöst sind und zu denen sich täglich neue gesellen.

Wenn es nun meine Aufgabe sein soll, die bedeutsame Stellung des Maschinenbaues in der chemischen Industrie zu beleuchten, so ist es mir natürlich unmöglich, alle Zweige der chemischen Industrie zu behandeln. Ich werde mich lediglich auf die wichtigsten Punkte in der Farben- und Stickstoff-Industrie beschränken. Sollten meine Ausführungen nicht die Fülle von Anregungen geben, die erwartet werden, so bitte ich, diesen Mangel auf die mir mit Rücksicht auf den Wettbewerb und auf das Ausland auferlegte Zurückhaltung zurückzuführen. Diese Zurückhaltung könnte als nicht berechtigte Geheimniskrämerei bezeichnet werden unter Hinweis darauf, daß andre Industrien mit derartigen Besorgnissen aufgeräumt haben und in einen öffentlichen freien Austausch ihrer Erfahrungen eingetreten sind. Die deutsche chemische Industrie, um welche Deutschland schon vor dem Kriege vom Ausland beneidet wurde und die heute unter der Industriespionage mehr als jede andre zu leiden hat, muß mit der Veröffentlichung von Erfahrungen zurückhaltender sein.

Bei der Konstruktion und Ausführung der Maschinen und Apparate sind natürlich zunächst alle Regeln, Richtlinien und Gesetze des allgemeinen Maschinenbaues zu beachten. Gäbe man sich damit zufrieden, ohne die Eigenart der chemischen Industrie zu berücksichtigen, so würden völlig unbrauchbare Maschinen geliefert werden. Für die chemische Industrie ist der 24-Stunden-Betrieb ebenso kennzeichnend wie für die Hütten- und einige andre Industrien. Es müssen also alle Maschinen für einen angestrengten Dauerbetrieb gebaut werden. Diese Forderungen werden ohne jeden Zweifel von manchen andern Industrien auch gestellt. Die Erschwernis für unsre Konstruktionen liegt jedoch in dem Umstande, daß die zu verarbeitenden und entstehenden Erzeugnisse die Maschinenteile mehr oder weniger angreifen, ihre Festigkeitseigenschaften gefährden und ihre Wirkungen beeinträchtigen. Bei ganz bestimmten Drücken, Temperaturen, Konzentrationen sind die zu verarbeitenden Gase, Laugen, Säuren usw. für das Konstruktionsmaterial ungefährlich. Bei Über- oder Unterschreitung eines bestimmten Zustandes wirken diese Körper mehr oder weniger zerstörend. Abb. 1 zeigt z. B. das Verhalten von Oleum gegenüber Flußeisen.

Es muß also zunächst eine sorgfältige Auswahl des Konstruktionsmaterials erfolgen. Auf Grund der Untersuchungen im Laboratorium kann der Chemiker die widerstandsfähigsten und geeignetsten Materialien uns angeben, aber damit ist noch nicht gesagt, daß dieses Material auch im Betrieb widerstandsfähig ist. Es zeigt sich sehr häufig, daß ein Material beim Laboratoriumsversuch völlig widerstandsfähig ist, weil sich auf der Oberfläche eine widerstandsfähige Oxydationsschicht gebildet hat. Im Betrieb wird jedoch diese widerstandsfähige und das Material vor weiteren Anfressungen schützende Verbindung durch strömende Flüssigkeiten oder Gase weggewaschen und das Material auf diese Weise immer wieder angegriffen und so allmählich ganz zerstört.

Die Abmessungen neuer Maschinen und neuer Apparate für neuartige Verfahren werden auf Grund der im Laboratorium vom Chemiker beobachteten Mengen, Drücke und Temperaturen festgelegt. Im Betrieb können die vorher festgelegten Arbeitsbedingungen nicht so genau eingehalten werden wie im Laboratorium. Die Rohmaterialien des Betriebes sind nicht so rein wie im Laboratorium, dadurch verläuft der chemische Prozeß im Betrieb häufig nicht so wie im Laboratorium. Es entstehen höhere Drücke, höhere Temperaturen, es müssen größere Mengen Flüssigkeiten oder Gase in Umlauf gesetzt werden, der Widerstand der Apparatur steigt, und der berechnete Energieaufwand reicht nicht aus. Leistet ein Apparat mehr, als im Entwurf angenommen wurde, so muß er für diese erhöhte Leistung dauernd beansprucht werden, und der Ingenieur muß sehen, wie er aus den übrigen in den Prozeß eingeschalteten Hilfsapparaten und Maschinen die verlangte Mehrleistung herausholt.

Unsre Apparate und Maschinen müssen daher schon beim Entwurf in allen Teilen besonders reichlich bemessen werden. Für angestrengte Betriebe der chemischen Industrie muß der in der Maschinenindustrie übliche Begriff der Dauerleistung noch wesentlich weiter gesteckt werden. Auf Grund der Erfahrungen mit ihren Motoren und Schaltapparaten in der Stickstoffindustrie hat die Elektrotechnik den Begriff „Dauerleistung chemisch" für ihre Lieferungen eingeführt. Damit hat sie besonders kräftige Typen geschaffen, welche die Mängel der üblichen Dauerleistungstypen nicht mehr aufweisen. Ich halte es für angezeigt, daß auch die Maschinenindustrie diese neue Bezeichnung für ihre Lieferungen an die chemische Industrie einführt. Alte, in andern Industrien und bei uns bewährte Konstruktionselemente der Kolbenmaschine, von ersten Maschinenfabriken geliefert, mußten für die Dauerbelastung in der Stickstoffindustrie mit zweckmäßigeren Materialien umkonstruiert werden. Heute sind diese Maschinen auf Grund unserer Betriebserfahrungen so vervollkommnet, daß sie ohne Überholung 4 bis 5 Monate Tag und Nacht bei Vollast durchlaufen.

Wir sehen also zunächst, daß ohne genaue Kenntnis des Verhaltens der Materialien im chemischen Betrieb die Konstruktion von zuverlässig arbeitenden Maschinen und Apparaten unmöglich ist. Ohne gründliche Kenntnis aller dieser Fragen wird auch der beste Konstrukteur der chemischen Industrie unbrauchbare Apparate und Maschinen liefern. Die Herstellung chemisch widerstandsfähiger Werkstoffe ist allerdings in erster Linie eine Aufgabe des Metallurgen. Der Maschinenkonstrukteur muß jedoch mit allen Fragen der Bearbeitung und mit dem Verhalten dieser Apparate gegenüber chemischen Produkten vertraut sein.

Die wichtigsten Baustoffe

für unsre Apparate sind Eisen, Kupfer, Aluminium, Blei, Bronzen und eine Reihe andrer Legierungen.

Dank seiner Widerstandsfähigkeit gegen gewisse Säuren, wie konzentrierte Schwefelsäure und manche organische Säuren, wird das Gußeisen in erster Linie zu Eindampfpfannen, Schmelzpfannen, Druckfässern, Rohrleitungen usw. verwendet. Für Hohlgüsse sind Kernstützen zu vermeiden, weil den Säuren an diesen Stellen bequeme Angriffspunkte gegeben werden. Für Schmelzkessel, die mit Feuergasen unmittelbar in Berührung kommen, wird vorteilhaft ein Gußeisen mit 0,5 bis 1 vH Nickelzusatz verwendet. Dieser Zusatz gibt ein feinkörniges Gefüge, verbessert die Festigkeitseigenschaften und erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse. Es gibt jedoch wenig Gießereien, die einen gleichmäßig legierten und widerstandsfähigen Guß liefern. Selbst bei gleichmäßiger Beanspruchung halten solche Pfannen oft nur wenige Einsätze aus, während andre von derselben Gießerei jahrelange Dienste leisten. Die vergleichende metallographische Untersuchung zeigt, daß das kristallinische Gefüge des nicht haltbaren Gusses nicht homogen ist. Mit andern Zusätzen wie Chrom usw. wird ein sogenannter säurefester Guß hergestellt, und dieser Guß wird von vielen Fabriken — ohne Zweifel in gutem Glauben — zu Apparaten für Schwefel- und Salpetersäuren jeder Konzentration angeboten. Wenn diese Fabriken ihr Material eingehend untersuchen würden, so würden ihnen später manche Enttäuschungen erspart bleiben.

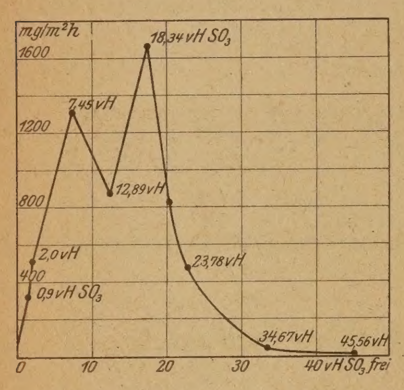


Abb. 1. Verhalten von Oleum (Schwefelsäure + gelöstes Schwefelsäureanhydrid) gegenüber Flußeisen.

Für Druckapparate und Autoklaven von großen Abmessungen wird an Stelle des Graugusses der Stahlguß verwendet. Neben Drücken bis 150 at werden diese Apparate gleichzeitig mit hohen Temperaturen beansprucht. Eine zweckmäßige Form kann nur gefunden werden, wenn dem Konstrukteur die Bedingungen, unter denen die Apparate zu arbeiten haben, genau bekannt sind. Es ist nicht zu bestreiten, daß die Stahlgußgießereien in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich Festigkeit und Gleichmäßigkeit des Materials bedeutende Fortschritte aufzuweisen haben; trotzdem müssen wir aber noch mehr verlangen. Die in der chemischen Industrie unter hohem Druck und höchster Spannung arbeitenden Apparate müssen vor allem gut ausgeglüht sein. Sie dürfen keinerlei verschweißte Spannungsrisse und keine porösen Stellen zeigen, die den zur Verarbeitung kommenden chemischen Produkten Anlaß zu Angriffen und Zerstörungen geben.

Apparate größerer Abmessungen und vor allem solche für größere Drücke werden aus Siemens-Martin-Blech hergestellt. Für ihre Konstruktion und Herstellung gelten die Regeln und Erfahrungen des Dampfkesselbaues. Diese Forderungen werden leider nicht von allen apparatebauenden Firmen beachtet. Man glaubt mit einer mehr oder weniger sorgfältigen Ausführung vollkommen auszukommen, weil die beim Dampfkesselbau anerkannten Regeln und Gesetze behördlich nicht immer vorgeschrieben sind. Verwendung ungeeigneter Materialien, Mißhandlung des Materials beim Vorrichten und Nieten, müssen wir häufig feststellen.

Die Fortschritte der autogenen und elektrischen Schweißung werden beim Apparatebau häufig überschätzt. Das Bestreben, alle Nähte, Stutzen und Böden zu schweißen, können wir nicht gutheißen. Die größte Sorgfalt ist hier am Platze, wenn der Abnehmer später nicht große Enttäuschungen erleben soll. Nicht ausgeglühte Schweißnähte und selbst ausgeglühte werden auch bei bester Ausführung von den meisten chemischen Produkten mehr oder weniger angegriffen. Unsre Erfahrung geht dahin, daß bei allen Apparaten für Säuren, Laugen und Lösungen, die das volle Material nicht angreifen, autogene Schweißnähte möglichst zu vermeiden sind, daß jedoch Feuerschweißung zugelassen werden kann.

Ganz besondere Sorgfalt ist bei Apparaten angezeigt, in welchen bestimmte Laugen verarbeitet werden. Diese, z. B. die Natronlauge, haben die Eigenschaft, solche Teile, die bei der kalten Bearbeitung, beim Walzen, Hämmern und Biegen, besonders beansprucht worden sind, zu zerstören. Die Gründe der Zerstörung sind meines Wissens noch nicht vollkommen aufgeklärt. Die metallurgische Prüfung solcher Teile zeigt, Abb. 2, daß das Material von einer großen Anzahl feinster Haarrisse durchzogen ist, die vermutlich auf Auslösung von Reckspannungen zurückzuführen sind.

Mit der Einführung hoher Arbeitsdrücke hat der Chemiker die Maschinenindustrie vor neue Aufgaben gestellt, und ich glaube, daß auf diesem Gebiete der Ingenieur in Zukunft noch manche schwierige Aufgabe zu lösen haben wird. So hat z. B. die synthetische Herstellung des Ammoniaks nach dem Haber-Bosch-Verfahren unter hohem Druck den Konstrukteur vor Schwierigkeiten ganz neuer Art gestellt. Die vorliegenden konstruktiven Erfahrungen mit hohen Drücken waren nicht ausreichend, weil Gase und Laugen bei hohen Drücken und gleichzeitig hohen Temperaturen dem Konstruktionsmaterial gegenüber sich nicht so harmlos verhalten wie Wasser und Öl. Der Ingenieur wurde vom Chemiker in ein Neuland geführt, in dem er das Verhalten der Stoffe erst kennen lernen mußte. Wenn der Ingenieur und der Chemiker im Kampfe mit dem Material und der Konstruktion durchgehalten haben, so ist dieser Sieg nur ihrem genialen Führer, Herrn Professor Dr. Bosch, zu verdanken. Es ist leider nicht möglich, alle interessanten und schwierigen Aufgaben, die dem Ingenieur gestellt wurden, hier eingehend zu behandeln. Ich will nur auf einen Punkt aufmerksam machen, der mit der Materialfrage zusammenhängt. Es ist bekannt, daß das Haber-Bosch-Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, daß ein Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch bei 200 at und 500 bis 600 ° C über einen Katalysator geleitet wird. Unter diesen Verhältnissen wirkt der Wasserstoff, was vorher nicht bekannt war und erst im Versuchsbetrieb festgestellt wurde, zersetzend auf das Eisenkarbid des Eisens ein, d. h. der Wasserstoff löst den Kohlenstoff aus dem Eisen heraus und zerstört das Gefüge derartig, daß besonders Kohlenstoffstahl schon nach kurzer Zeit die Eigenschaften des Gußeisens annimmt. Das metallographische Bild Abb. 3 zeigt auf der unteren Seite das entkohlte und auf der oberen Seite das ursprüngliche Material. Wie weit die Zerstörung gehen kann, geht aus Abb. 4 hervor. Es mußten also Materialien und Konstruktionen gesucht werden, mit denen diese zerstörenden Wirkungen des Wasserstoffes auf die hoch beanspruchten Konstruktionsteile vermieden wurden. Die Mitarbeit unserer hochentwickelten Stahlindustrie war für uns bei der Lösung dieser Aufgaben von großer Bedeutung. Mit der Vervollkommnung des Verfahrens sind auch die Ansprüche an die Abmessungen der Apparate und Maschinen mit jedem Jahre gestiegen. Abb. 5 zeigt die gewaltigen Abmessungen eines Ammoniak-Hochdruckofens und Abb. 6 die erste Stufe eines 3200 pferdigen Hochdruckkompressors. Die Rücksicht auf das recht eigenartige Verhalten der Gase führte zu Konstruktionen, die im allgemeinen Kompressorenbau nicht üblich sind. Aus solchen Rücksichten ist die Konstruktion der Gasumlaufpumpe, die in Abb. 7 dargestellt ist, entstanden.

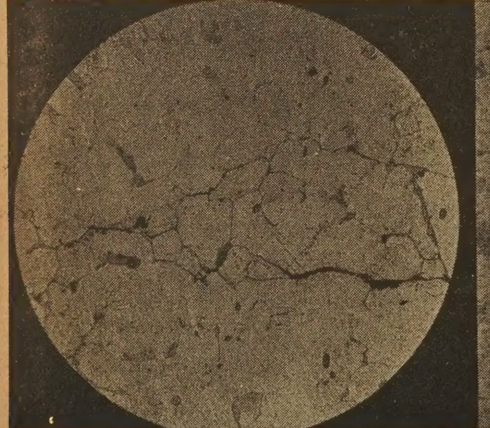


Abb. 2. Durch Natronlauge zerstörtes Flußeisen.

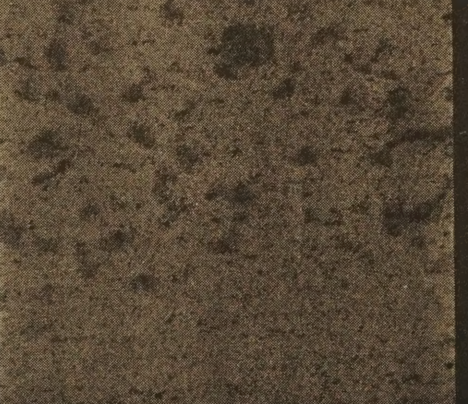


Abb. 3. Angriff von Wasserstoff auf Flußeisen.

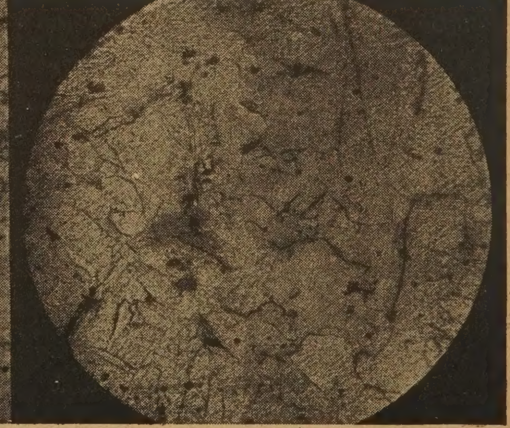


Abb. 4. Angriff von Wasserstoff auf Flußeisen.

Ein wichtiger Baustoff für den chemischen Apparatebau wurde in den letzten Jahren das Aluminium. Es hat vielfach das Kupfer, das heute noch vorzugsweise im Apparatebau für die Nahrungsmittelindustrie Verwendung findet, verdrängt. Mit dem Kupfer teilt es die angenehme Eigenschaft der leichten Formgebung und Schweißbarkeit. Es ist aber dem Kupfer in bezug auf chemische Angriffe häufig weit überlegen. Infolge seiner Widerstandsfähigkeit gegen konzentrierte Salpetersäure und manche organische Säuren wird es immer mehr für Rohrleitungen, Sammelgefäße, Transportgefäße und andre Apparate verwendet werden. Die Versuche mit Aluminium-Kesselwagen für konzentrierte Salpetersäure sind so günstig ausgefallen, daß in Zukunft Topfwagen für diesen Zweck ausgeschaltet werden können. Mißerfolge mit Aluminiumapparaten treten nur dann auf, wenn das Aluminium nicht genügend rein ist und die Schweißnähte Oxydschichten aufweisen, die Anlaß zu Anfressungen geben. Die Weichheit des Aluminiums ist leider ein Hindernis gegen die Herstellung genieteter Apparate. Zur Herstellung von Armaturen- und Apparateteilen wird Aluminiumguß verwendet, der jedoch leider selten rein und frei von Blasen oder Lunkern geliefert wird. Zu diesem Zwecke sind im letzten Jahre Aluminiumlegierungen eingeführt worden, z. B. das Silumin, eine Legierung von Aluminium und Silizium, die vielfach auch chemisch widerstandsfähiger sind als das Reinaluminium.

Abb. 5. Ammoniak-Hochdruckofen.

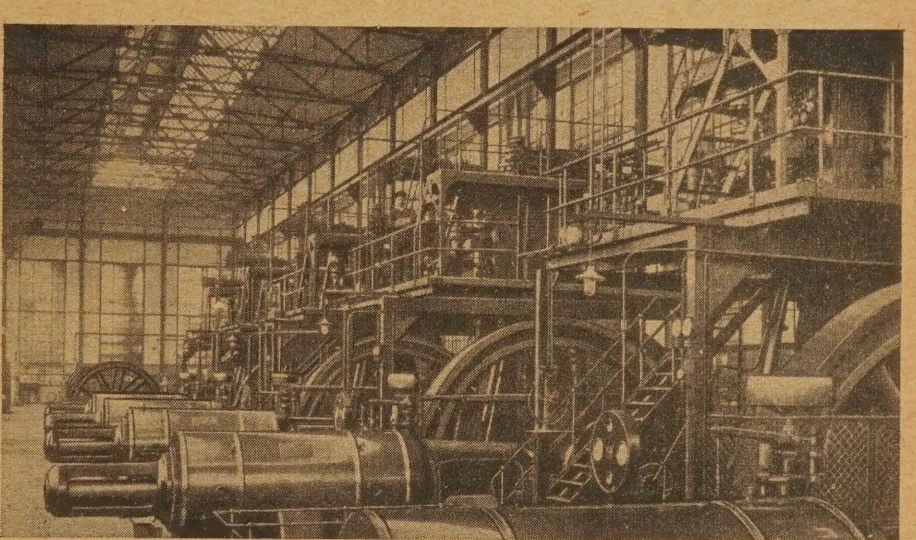


Abb. 7. Gasumlaufpumpen, mit Dampfmaschinen gekuppelt.

Unentbehrlich für die chemische Industrie infolge seiner chemischen Widerstandsfähigkeit gegen Schwefelsäure ist das Blei. Dort, wo die lose Verbleiung nicht genügt, wird die homogene Verbleiung angewendet, die aber nur dann einen Vorteil bietet, wenn das Blei vorher auf verzinnten, schmiedeisernen oder Stahlgußteilen homogen aufgetragen wird. Die vereinfachte Form der homogenen Verbleiung, bei der das Blei heiß aufgewalzt oder aufgegossen wird, genügt nur für untergeordnete Zwecke. Es ist wünschenswert, daß ein neues zuverlässiges Arbeitsverfahren gefunden wird, bei dem die gesundheitschädlichen Einflüsse des Verbleiens auf die Arbeiter beseitigt werden und gleichzeitig eine größere Leistung erzielt wird. Die Legierungen des Bleies mit Antimon, das sogenannte Hartblei, werden mit Vorteil für Armaturen und Pumpen verwendet.

Die ungeheuren Anforderungen, die die Kriegsindustrie an die deutsche chemische Industrie hinsichtlich der Salpetersäureerzeugung gestellt hat, haben Salpetersäurefabriken in solchem Ausmaß entstehen lassen, daß man mit den früher üblichen Tonerzeugnissen für Rohrleitungen, Pumpen, Ventile nicht mehr ausreichte. Das früher schon verwendete Ferrosiliziumeisen, das gegen Schwefelsäure und Salpetersäure jeder Konzentration widerstandsfähig ist, mußte in großen Mengen und in großen Gußstücken hergestellt werden. In verhältnismäßig kurzer Zeit haben eine Reihe Gießereien ein gleichmäßiges und widerstandsfähiges Material zu liefern verstanden. Die chemische Industrie hat heute noch für dieses Material das größte Interesse und würde es begrüßen, wenn die Gießereien die Mängel dieses Materials, wie große Sprödigkeit, Schwierigkeit der Bearbeitungsmöglichkeit und Empfindlichkeit schon gegen geringe Temperaturschwankungen, beseitigten.

Diese Mängel sind bei dem Kruppschen V2A-Stahl, einer Chromnickel-Legierung, die gegen kalte, heiße, konzentrierte und verdünnte Salpetersäure durchaus beständig ist, beseitigt. Er ist unter Beachtung gewisser Vorschriften schweißbar, läßt sich gießen, schmieden, walzen und mit Werkzeugen verhältnismäßig gut bearbeiten. Infolge seiner außerordentlichen Zähigkeit verwenden wir ihn in großem Maßstab für Pumpen, Ventile und Ventilsitze für Dämpfe und Gase.

Eine gegen Salzsäure widerstandsfähige Legierung ist meines Wissens bis heute noch nicht gefunden worden, und es würde eine fühlbare Lücke ausgefüllt werden, wenn ein solches

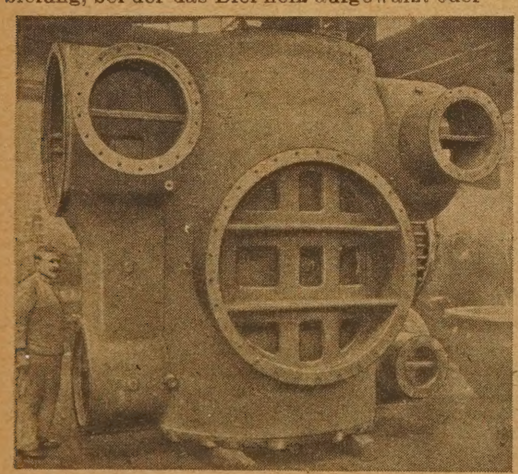


Abb. 6. Ammoniakkompressor-Zylinder, erste Stufe.

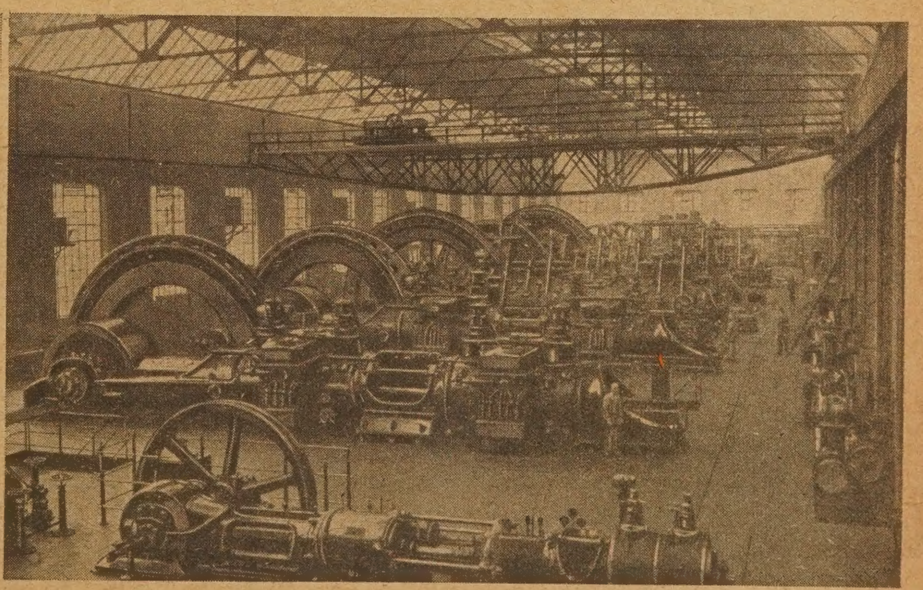


Abb. 8. Gasmaschinenzentrale in Oppau.

Material geliefert werden könnte. Wir sind hier noch auf Ton und Steinzeug angewiesen, auf Baustoffe, die wir wegen ihrer bekannten Eigenschaften gern durch solche Baustoffe ersetzen möchten, denen auch Zuganstrengungen zugemutet werden können.

In Ermangelung eines solchen Baustoffes haben einige Emaillierwerke mit dem säurebeständigen Email große Erfolge in der chemischen Industrie erzielt. Dies bis 450° hitzebeständige Email wird auf die mittels Sandstrahlgebläses gereinigten Flächen der Gußstücke in mehreren Schichten aufgebrannt. Die Herstellung säurefester Emailapparate ohne Poren und ohne Haarrisse — nur solche sind in der chemischen Industrie brauchbar — gelingt heute nur wenigen Firmen. Die säurefeste Emaillierung von Schmiedeisen und Stahlguß ist heute leider noch nicht vollkommen gelungen, weil das Email auf Schmiedeisen nicht so gut haftet wie auf Gußeisen. Schmiedeiserne Apparate müssen daher, wenn die homogene Verbleiung gegen die Füllung versagt, mit säurefesten Plättchen und säurefestem Kitt ausgelegt werden. Da der schmiedeiserne Mantel bei Temperaturänderungen sich mehr bewegt als die Auskleidung, werden die Fugen leicht undicht, und die angreifenden Gase oder Flüssigkeiten zerstören dann in kürzester Zeit den Mantel. Als Ersatz solcher Ausmauerung wird heute schon vielfach mit bestem Erfolg Hartgummi verwendet, mit dem auch Einzelteile, wie Rührer usw., überzogen werden. So ist es auch heute möglich, Kesselwagen für Salzsäure herzustellen.

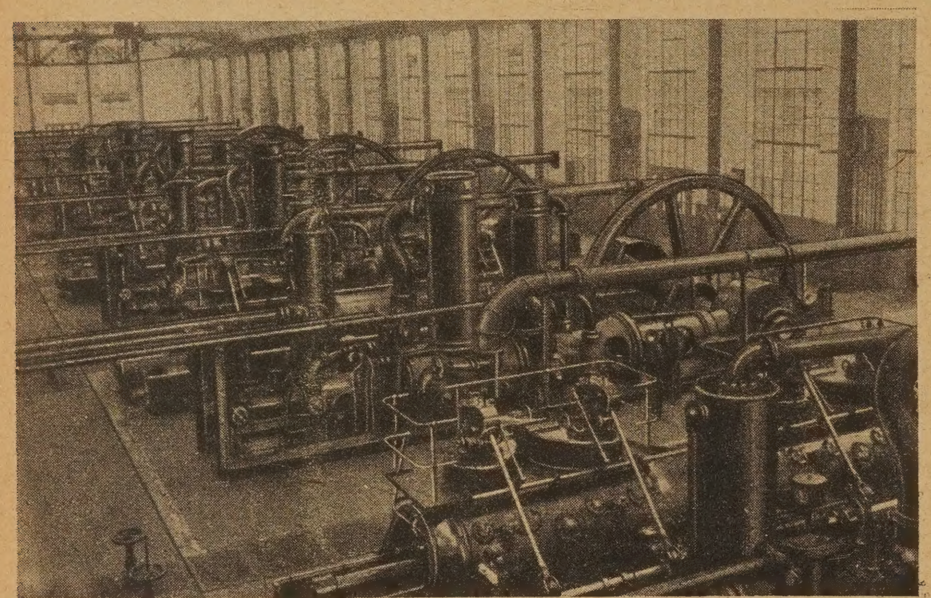


Abb. 9. Hochdruckkompressoren, mit Gasmaschinen gekuppelt.

Es würde zu weit führen, wenn ich auch die Brauchbarkeit der Bronzen hinsichtlich der chemischen Widerstandsfähigkeit erörterte. Es sind erfolgversprechende Ansätze zur Herstellung widerstandsfähiger Bronzen bekannt, die berufen sein könnten, noch manche vorhandene Lücken auszufüllen. Die Erkenntnis, daß die hochbeanspruchten Apparate und Maschinen einer Ammoniakfabrik nur mit besten und geeignetsten Baustoffen betriebsicher hergestellt werden dürfen, deren Verhalten unter den vorliegenden Verhältnissen noch nicht erforscht war, gab Veranlassung, alle Konstruktionsmaterialien in einer neu zu schaffenden Materialprüfungsanstalt zu prüfen. Ihr Wirkungskreis wurde auch auf alle Materialfragen der Farbenfabrik ausgedehnt, und es zeigte sich auch hier, wie dringend notwendig eine solche Anstalt selbst für eine auf langjährige Erfahrungen gestützte Fabrik heute geworden ist, wenn nicht die neuesten Ergebnisse der Materialforschung für die Vervollkommnung der Apparatur unbenutzt bleiben sollen.

Wärmewirtschaft und Kraftmaschinen.

Die große Bedeutung der Wärmewirtschaft wurde von der chemischen Industrie schon frühzeitig erkannt. Es gibt nur wenige chemische Vorgänge ohne Wärmeverbrauch. Neben einem bedeutenden Kraftverbrauch zum Antrieb der Maschinen und Apparate werden große Wärmemengen zum Anwärmen, Kochen, Heizen, Eindampfen und Destillieren verwendet. Kraft- und Wärmeerzeugung müssen also hier noch mehr als in andern Industrien gekuppelt werden. Die Bedeutung der Wärmewirtschaft wird am besten durch einige Verbrauchzahlen beleuchtet.

Die Badische Anilin- und Soda-Fabrik verbraucht in ihren Fabriken Ludwigshafen, Oppau und Merseburg täglich 2100 t Steinkohlen 1900 t Koks, 600 t Braunkohlenbriketts und 9000 t Rohbraunkohle. Die tägliche Erzeugung in den elektrischen Zentralen beträgt 800 000 kWh. Zum Antrieb von Pumpen, Kompressoren und andern Arbeitsmaschinen sind außerdem 210 000 PS im Betrieb. In 25 Kesselhäusern sind 270 Dampfkessel mit 120 000 m² Heizfläche untergebracht, außerdem sind zahlreiche Feuerstellen zu verschiedensten Zwecken vorhanden. Diese Zahlen zeigen die wichtigen Aufgaben des Wärmeingenieurs in chemischen Fabriken. Als erstes Gesetz für die Betriebsführung gilt die Forderung, daß Dampf nur zum Kochen, Anwärmen, Eindampfen und Destillieren kondensiert werden darf, und daß dieser Dampf in Gegendruck- und Anzapfmaschinen Arbeit geleistet haben muß. Dieser Grundsatz ist in der Oppauer Fabrik so vollkommen durchgeführt, daß heute nur noch ¾ vH der Niederdruckdampfmenge vom Hochdruckdampfnetz in das Niederdruckdampfnetz entspannt wird, d. h. nur die Menge, die zum Regulieren eines gleichmäßigen Niederdruck-Dampfdruckes erforderlich ist. In den Werken Ludwigshafen, Oppau und Merseburg arbeiten insgesamt 43 000 PSe auf Gegendruck. In den älteren chemischen Fabriken ist dieser Grundsatz erst teilweise verwirklicht.

Bei den im Jahre 1912 und während des Krieges in Angriff genommenen Stickstoff-Fabriken Oppau und Merseburg, bei denen der Kraft- und Wärmeverbrauch zur Erzeugung des Primärstickstoffes und des Fertigerzeugnisses, der Düngesalze, genau berechnet werden konnte, konnte die Wärmewirtschaft von Anfang an wirtschaftlicher aufgebaut werden. Für beide Werke mußten unter Berücksichtigung der geographischen Lage, welche die Brennstoffversorgung beeinflußt, alle Fragen der Kraft- und Wärmeerzeugung eingehend untersucht werden. Für das am Rhein gelegene Werk Oppau kamen nur Steinkohlen und Braunkohlenbriketts in Frage. Da der zur Ammoniakerzeugung erforderliche Wasserstoff beim ersten Ausbau durch Trennung von Wassergas nach dem Linde-Verfahren erzeugt wurde und dadurch größere Mengen Kohlenoxydgas zur Verfügung standen, und da man außerdem für den weiteren Ausbau des Werkes schon mit der Errichtung einer eigenen Kokerei zur Gewinnung von Koks für die Wassererzeugung rechnete, wodurch später Kokereigas verfügbar wurde, mußte der Antrieb der Kompressoren und der Stromerzeuger durch Gasmaschinen in erster Linie untersucht werden, wenn man die genannten Abfallgase nicht unter Dampfkesseln verbrennen wollte. Mit diesen Gasen konnte die Krafterzeugung jedoch nur teilweise gedeckt werden.

Eingehende Untersuchungen und der Umstand, daß mit Braunkohlenbriketts ein verhältnismäßig billiges Kraftgas erzeugt werden konnte, führten zu dem Ergebnis, daß die Gasmaschine bei Tag- und Nachtbetrieb dem Dampfbetrieb mit Kondensation überlegen ist. Der erforderliche Niederdruckdampf für den Generatorenbetrieb und die Heizungen mußte den Gegendruck-Dampfturbinen, die mit verschiedenen Turbogebläsen gekuppelt waren, entnommen werden. Mit dem weiteren Ausbau des Werkes nahm dann der Niederdruckdampfbedarf durch Aufstellung großer Eindampfereien und durch Einführung eines Kontaktverfahrens mit Niederdruckdampfverbrauch zur Erzeugung von Wasserstoff ganz gewaltig zu. Diese Niederdruckdampfmengen wurden durch Gegendruck-Dampfmaschinen, die unmittelbar mit Gaskompressoren und Pumpen gekuppelt wurden, gedeckt. Außerdem wurden im Laufe der Jahre noch Anzapfturbinen und Gegendruckturbinen zur Erzeugung elektrischer Energie aufgestellt. Durch diesen gemischten, auf Wärme- und Kraftbedarf abgestimmten Dampf- und Gasbetrieb ist eine außerordentlich günstige Wärmewirtschaft erreicht und außerdem der nicht zu unterschätzende Vorteil erzielt, daß bei einer Störung im Gasbetrieb der Dampfbetrieb und damit die Weiterführung des Betriebes ermöglicht ist. Dieser Vorteil ist bei der Durchführung von Wärmeprozessen, die gegen Unterbrechungen besonders empfindlich sind, von ganz besonderer Bedeutung. Abb. 8 und 9 zeigen die elektrische Zentrale und eine Hochdruckkompressorenanlage mit Gasmaschinen.

Wesentlich anders lagen die Verhältnisse bei Merseburg. Abfallgase standen nicht zur Verfügung, weil zur Erzeugung des Wasserstoffes von vornherein das Kontaktverfahren eingeführt wurde und die Vergasung der mulmigen Rohbraunkohle aus dem Geiseltale, auf die man angewiesen war, noch nicht gelöst war. Man war daher auf Dampfantrieb angewiesen. Zur Erzeugung von elektrischer Energie und zum Antrieb von Turbogebläsen wurden Gegendruck-Anzapf- und Kondensationsturbinen gewählt, während Kompressoren und Kolbenpumpen mit Kondensationsdampfmaschinen angetrieben wurden. Nachdem wir heute in der Lage sind, auch die Rohbraunkohle zu vergasen, und wir durch den Vergleich der Oppauer und Merseburger Verhältnisse die Überzeugung gewonnen haben, daß der Gasmaschinenbetrieb dem Dampfmaschinenbetrieb zum Antrieb von Kompressoren mit hohen Betriebstundenzahlen überlegen ist, haben wir uns entschlossen, für den weiteren Ausbau des Werkes ebenfalls Gasmaschinen aufzustellen. Auch den Mehrbedarf an elektrischer Energie werden wir in Zukunft mit Gasmaschinen erzeugen, wenn nicht die Gasturbine, von der wir uns für unsre

Verhältnisse ganz besondere Vorteile versprechen, in Bälde zu einer betriebsicheren Maschine ausgebildet worden ist.

Die Regulierung der Drehzahl der Gasmaschine läßt nichts zu wünschen übrig, und der thermodynamische Wirkungsgrad von über 50 vH unter Ausnutzung der Abgase in Abwärmekesseln ist vorzüglich. Dieser Wirkungsgrad wird durch Ausnutzung des warm abfließenden Kühlwassers zu Badezwecken und durch Einführung der Heißkühlung noch weiter gesteigert, so daß der etwas größere Aufwand für Unterhaltung nicht von Bedeutung ist. Im Gegensatz zum Dampfbetrieb sind die Verluste in den Zuleitungen praktisch gleich null. Die Unterhaltungskosten des Dampfnetzes, die Verluste durch Kondensation, Kondensationstöpfe, undichte Leitungen und Ventile werden bei ausgedehnten Dampfleitungsnetzen häufig unterschätzt. Unstimmigkeiten in der Steuerung sind bei Gasmaschinen nicht von der Bedeutung wie bei der Dampfmaschine, weil die Abwärmekessel den entsprechend größeren Wärmeverbrauch auffangen. Bei der Dampfmaschine geht ein solcher Mehrverbrauch in der Kondensation verloren.

Wenn der Gegendruckdampf über Kontaktanlagen geleitet oder, wie in den Farben- und pharmazeutischen Fabriken, unmittelbar in Lösungen eingeleitet wird, scheidet die Gegendruck-Dampfmaschine trotz ihres besseren thermodynamischen Wirkungsgrades aus, weil es bis heute noch keinen vollkommenen Abdampfentöler gibt. In solchen Fällen wird der Turbinenantrieb bevorzugt. Es müssen daher alle Dampfmaschinenfabriken größtes Interesse an der Konstruktion eines guten Abdampfentölers haben. Allein nicht nur beim Gegendruckbetrieb, sondern auch beim Kondensationsbetrieb mit hohem Vakuum erfüllen die Abdampfentöler unsre berechtigten Ansprüche heute noch nicht.

Dort, wo der Gegendruckbetrieb noch nicht restlos durchgeführt ist, muß Hochdruckdampf durch Drosselventile entspannt werden. An die Genauigkeit dieser Regelung müssen in manchen Betrieben hinsichtlich des gleichmäßigen Druckes und der Einstellung der Temperaturen große Anforderungen gestellt werden, weil gewisse Umsetzungen von ganz bestimmten Temperaturen abhängen. So kann z. B. eine Überhitzung der Sprengstoffe beim Anwärmen, Trocknen oder Schmelzen die Ursache von Explosionen werden. Wechsel zwischen Hoch- und Niederdruck durch Ab- und Zuschalten von Apparaten muß vom Drosselventil aufgenommen werden können. In Ermangelung sicherwirkender Drosselventile hilft man sich heute durch Hintereinanderschalten mehrerer Ventile. Die Armaturenfabriken würden durch die Konstruktion sicherwirkender Drosselventile einem großen Mangel abhelfen.

Die zehnjährigen Erfahrungen mit Großgasmaschinen in dem Oppauer Werke haben, wie schon bemerkt, deren Überlegenheit über Dampfkraftmaschinen in der chemischen Industrie erwiesen. Ihre weitere Einführung hängt von den Fortschritten im Bau großer leistungsfähiger Generatoren ab, die die Herstellung eines billigen Kraftgases aus billigen Brennstoffen ermöglichen. Die im Bitterfelder und Hallenser Braunkohlengebiet angesiedelte chemische Industrie ist an solchen Generatoren besonders interessiert. Der Durchsatz der ausgeführten Rohbraunkohlengeneratoren ist noch zu klein und die angeschlossenen Reinigungsapparate für maschinenreines Gas sind noch unvollkommen und im Betrieb zu teuer. In dieser Beziehung ist mit Abstichgeneratoren für Koksgas, das für chemische Zwecke in den letzten Jahren von Bedeutung geworden ist, ein wesentlicher Fortschritt hinsichtlich des Durchsatzes erzielt worden. Der Abstichgenerator verdient wegen seiner großen Vorzüge hinsichtlich der Betriebsicherheit, seiner geringen Betriebskosten, seiner großen Durchsatzmöglichkeit in allen Großbetrieben noch weitere Beachtung. Die Wirtschaftlichkeit dieser Generatoren könnte noch wesentlich erhöht werden, wenn die latente Wärme des Gases mit 700 bis 800 ° in Abwärmekesseln ausgenützt werden könnte. Versuche in dieser Richtung mit Heizröhrenkesseln sind an den großen Mengen Feinstaub, der auf Schmelzzuschläge und hohen Winddruck zurückzuführen ist, gescheitert. Die Reinigung des Gases von Staub und Teer bis zur größten Feinheit kann mit Desintegratoren erreicht werden. Der Kraftaufwand ist jedoch ganz bedeutend. In dieser Beziehung ist noch viel Arbeit zu leisten, und ich bin der Ansicht, daß die elektrische Reinigung der Gase, wenn die Apparate noch vollkommener, gedrängter und billiger gebaut werden können, in großem Maßstab in der chemischen Industrie eingeführt werden wird.

Die großen Vorzüge des Gasbetriebes gegenüber der unmittelbaren Verbrennung fester Brennstoffe werden nicht nur bei der chemischen Industrie, sondern auch in andern Industrien, z. B. in der Stahl- und keramischen Industrie, immer mehr anerkannt. Die große Betriebsicherheit, die sichere und bequeme Temperaturregelung, von der häufig die Ausbeute und die Umsetzungen abhängen, berechtigen die Gasfeuerung selbst dort, wo eine Rostfeuerung eine Brennstoffersparnis ermöglichen würde. Die Nützlichkeit der vielseitigen Verwendung der Gase wird den Gasbetrieb in der chemischen Industrie immer mehr ausbreiten. Es ist daher alle Veranlassung gegeben, die Generatorkonstruktionen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und die Apparate zur Beseitigung lästiger Verunreinigungen oder zur Gewinnung wertvoller Nebenprodukte zu verbessern. Vergleicht man die Fortschritte, die in den letzten 20 Jahren auf andern Gebieten erzielt worden sind, so kann man von der Vervollkommnung der Generatoren mit ihrem Zubehör in der nächsten Zeit noch wesentliche Fortschritte erwarten. (Schluß folgt.)

Unzulässige Absenkung des Wasserspiegels in Steilrohrkesseln.

Bei gewöhnlichen Wasserrohrkesseln mit zwei getrennten Oberkesseln und gemeinsamer Wasserkammer kann man häufig beobachten, daß der Wasserstand im linken Oberkessel anders als im rechten Oberkessel ist. Diese Erscheinung tritt sehr deutlich ein, wenn man die eine Seite der Feuerung gerade abgeschlackt hat. Regelmäßig steigt dann der Wasserspiegel auf der entgegengesetzten Seite, wo das Feuer hell brennt, wie man im Wasserstandsglas deutlich sehen kann. Die Absenkung wird auch durch reichlich große Querverbindungen (Stutzen) der Oberkessel nicht verhindert.

Die Hauptursache ist der durch die verschiedenen Temperaturen im Feuerraum herbeigeführte Unterschied im spezifischen Gewicht der Wassersäulen im rechten und im linken Oberkessel. Der Auftrieb des Dampf- und Wassergemisches ist ungleich. Ähnliche Erscheinungen zeigen sich jedoch in viel größerem Maßstabe bei den neuzeitlichen Steilrohrkesseln, die ihrer hohen Leistung und ihres geringen Platzbedarfes halber in den Kraftwerken bevorzugt werden. Hierüber hat in der Zeitschrift d. Bayr. Rev. Ver. Nr. 20 vom 31. Oktober 1923 Obering. Maas vom Großkraftwerk Franken beachtenswerte Mitteilungen gebracht und an der Hand einwandfreier Versuche mit mehreren am Oberkessel eingebauten Wasserstandgläsern und auch mit einigen in die Wasserrohre eingebauten Stromrichtungsklappen den Nachweis geführt, daß bei Steilrohr-Dampfkesseln in dem hinteren Oberkessel eine bedeutende Absenkung des Wasserspiegels gegenüber dem des vordern Oberkessels eintritt.

Dieser Unterschied im Wasserspiegel hängt von der Größe der Dampfentnahme ab und steigt bis zu 70 cm bei einer Heizflächen-Belastung von 41 kg/m²h oder auf 63 cm bei 31 kg/m²h. Durch die Absenkung des Wasserspiegels wird der ganze untere Teil des Oberkessels und der obere Teil des hinteren Steilrohrbündels vom Wasser entblößt und der schädlichen Wirkung der Heizgase ausgesetzt. Die Folgen sind schwere Schäden an der oberen Einwalzstelle der Rohre und auch an den Nähten des Oberkessels. Bei diesem sind zum Teil auch, weil das Speiserohr im Dampfraum lag, die Nietköpfe in den Längsnähten reihenweise abgesprungen, und die noch stehen gebliebenen Köpfe konnten durch einen leichten Schlag entfernt werden. Außerdem haben sich viele feine Nietlochkantenrisse bemerkbar gemacht, welche die Blechfestigkeit erheblich herabsetzten.

Die vielfach bei Steilrohrkesseln beobachteten Schäden haben hierdurch eine überraschende Erklärung gefunden. Stark abgesenkten hinteren Wasserspiegel hat man auch bei Steilrohrkesseln mit starken, stutzenartigen oder röhrenartigen Querverbindungen der Ober- und Unterkessel beobachtet. Die Absenkung des Wasserspiegels erkennt man in vielen Fällen an dem starken Knattern, das beim Speisen in den hinteren Oberkessel auftritt, wenn das Speisewasser in den vom Wasser entblößten Dampfraum gelangt. Zahlreiche Abänderungen in der Umlaufrichtung des Wassers haben die Absenkungen nicht gemindert.

Erst als man beide Unterkessel völlig ohne Querverbindung herstellte und nur die Dampf- und Wasserrohrbündel der beiden hintereinander liegenden Oberkessel als einzige Querverbindung bestehen ließ, zeigte sich ein fast übereinstimmender Wasserstand in beiden Oberkesseln, der allerdings wegen des Widerstands des Wasserüberlaufs noch einen kleinen Unterschied von 10 cm aufwies. Bringt man in dem vordern und in dem hintern Rohrbündel je eine Schamotte-Trennwand an, dann veranlaßt die Heizgasführung in jedem Rohrbündel selbsttätig einen hinreichenden und guten Wasserumlauf, der, wie festgestellt worden ist, genügt, um auch noch Hochleistungen von 38,5 kg/m²h und Wirkungsgrade von 81,2 vH selbst bei ungereinigtem Kessel zu erhalten. Nach Wegnahme der Querverbindung der beiden Unterkessel sind das vordere und das hintere Rohrbündel frei ausdehnbar und nicht mehr den gefürchteten Wärmespannungen ausgesetzt. Leckwerden der Rohreinwalzstellen und der Nietnähte hat man seit der Abänderung der Anlage nicht mehr bemerkt.

Bei diesen Versuchen wurde gleichzeitig durch die in die Rohre eingebauten Stromrichtungsklappen einwandfrei nachgewiesen, daß sich der Wasserumlauf im Steilrohrkessel entsprechend dem vorhandenen Temperaturgefälle zwischen Heizgas und Heizfläche ohne besondere Hilfsmittel zwanglos von selbst einstellt. Diese Versuche haben dem Kesselkonstrukteur einen wertvollen Fingerzeig zur Vermeidung starrer Verbindungen an manchen Wasserrohrkesseln gegeben.

Aachen. [M 2106] Dipl.-Ing. Heinr. Faust.

Die Anwendung des Arbeitsregler-Antriebes.

Von Oberingenieur Othmar Pollok, Berlin.

Der vom Verfasser angegebene Antrieb von Maschinen mit stark wechselnder Kraftaufnahme durch einen in weiten Umlaufgrenzen selbsttätig geregelten Elektromotor wurde zum ersten Mal auf der Elektro-Ausstellung in Essen 1921 vorgeführt. Inzwischen hat der Antrieb, der von der AEG geliefert wird, vielfach Anwendung gefunden und Erfahrungen ergeben. Solche und einige für die Anwendung maßgebende Gesichtspunkte werden nachstehend, nach kurzer Erklärung des Antriebes selbst, gegeben.

Die Bezeichnung „Arbeitsregler" [1]) kommt nicht von dem Begriff „Arbeit" der Mechanik her, sondern von der Art, in der ein guter Arbeiter seine Arbeit regelt. Um ohne Überanstrengung, aber bei voller Ausnutzung seiner Arbeitstätigkeit zu schaffen, wird er immer ein bestimmtes Verhältnis zwischen Kraftaufwand und Arbeitsgeschwindigkeit einhalten.

Diese beim Menschen fast unwillkürliche Eigenschaft kann man am besten bei der Bedienung eines Flaschenzuges oder einer Winde beobachten. Etwas Ähnliches sucht man bei Kraftwagen mit dem von Hand bedienten Geschwindigkeitswechselgetriebe zu erreichen. Könnte der Motor selbst bei verschiedenen Fahrwiderständen seine Geschwindigkeit derart ändern, daß seine Leistung immer gleichbliebe, so würden die Wechselgetriebe überflüssig sein. Eine solche selbsttätige Regelung kann mittels des Arbeitsreglers einem Elektromotor gegeben werden.

Die Kennlinien eines solchen Motors sind in Abb. 1 gezeichnet. Mechanisch ausgedrückt, zeigen die Linien, daß dieser Motor — innerhalb bestimmter Grenzen — bei verschiedenen auszuübenden Kräften (Drehmomenten) seine Geschwindigkeit selbsttätig so ändert, daß seine Leistung gleichbleibt.

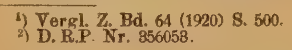
Eine Annäherung an dieses anzustrebende Verhalten findet sich beim Gleichstrom-Hauptstrommotor, der deshalb seit jeher mit Vorliebe für Arbeiten mit wechselnder Last oder Widerstand, also für Hebezeuge, Bahnen, Elektrokraftwagen und dergl. benutzt wird. Wie aber die Kennlinien, Abb. 2, eines Hauptstrommotors zeigen, werden durch die magnetische Sättigung des Eisens und durch die Abhängigkeit der Magneterregung von der Belastung (Ankerstromstärke) starke Abweichungen gegenüber dem in Abb. 1 dargestellten, gewünschten Linienverlauf hervorgerufen. Infolgedessen wird bei verschiedenen Drehmomenten keine gleichbleibende Leistung abgegeben, sondern es können bei kleineren Drehmomenten nur geringe Leistungen erzielt und bei großen Drehmomenten Überlastungen nicht vermieden werden. Dazu kommt noch, daß der Hauptstrommotor durchgehen kann.

Dem gewünschten Gesetz entspricht aber vollständig ein Gleichstrom-Reguliermotor, dessen Feld in Abhängigkeit von der Ankerstromstärke beeinflußt wird, so daß in Abb. 1 die beabsichtigten Linien genau mit den Kennlinien des Arbeitsregler-Reguliermotors übereinstimmen.

Wirkung des Arbeitsreglers.

Der Arbeitsregler besteht gewöhnlich aus einer Anzahl von Stromwächtern, Abb. 3, die hintereinander in den Motorstromkreis eingeschaltet werden, und von denen jeder eine Stufe des Feldwiderstandes des Reguliermotors mittels entsprechender Kontakte öffnet oder kurzschließt.

Die Stromwächter[2]) sind eisenfreie Solenoide, in denen Anker schweben. Die Stellung des Ankers, der die Kontakte betätigt, richtet sich genau nach der die Spule durchfließenden Stromstärke, da kein Spuleneisen vorhanden ist und damit alle störenden Einflüsse ausgeschaltet sind. Die Stromwächter sind nacheinander auf bestimmte Motorstromstärken abgestimmt, bei denen der Kern angehoben oder fallen gelassen wird. Das Anheben des Kernes bewirkt durch Kontakte das Kurzschließen der betreffenden Stufe des Nebenschlußreglers.



[1]) Vergl. Z. Bd. 64 (1920) S. 500.
[2]) D. R.P. Nr. 356058.

Solange die Höchststromstärke des Motors nicht erreicht wird, bleibt der Arbeitsregler wirkungslos; erst wenn etwa 90 vH dieser Stromstärke auftreten, beginnt der erste Stromwächter seine Widerstandstufe kurzzuschließen. Dadurch wird die Motordrehzahl vermindert und das Feld sowie das Drehmoment verstärkt. Reicht dies zur Überwindung des Drehmomentwiderstandes noch nicht aus, so wiederholt der zweite, dann gegebenenfalls der dritte und vierte Stromwächter den Vorgang, bis der Motor mit seiner niedrigsten Drehzahl und größtem Drehmoment arbeitet. Sinkt dagegen die Stromstärke wieder, so fällt ein Kern nach dem andern ab, wodurch der Motor sich wieder beschleunigt.

Wird ein derartig geregelter Motor beispielsweise zum Antrieb einer Kurbelblechschere benutzt, die weder ein Schwungrad, noch eine Kupplung hat, so wird seine Geschwindigkeit während einer Kurbelumdrehung etwa so verlaufen, wie in Abb. 4 (Linie 2) dargestellt. Die Grundlinie stellt den abgewickelten Kurbelkreis dar und ist mit Gradeinteilung versehen. Darüber sind die bei einer Umdrehung und Durchschneiden des Bleches zu überwindenden Tangentialdrücke aufgezeichnet (Linie 1). Der Motor wird mit der Kurbelwelle über zwei oder drei Rädervorgelege verbunden, wie in Abb. 5 und 6 schematisch dargestellt. Der Reguliermotor *a* habe z. B. eine Grundumlaufzahl von 300 und eine Höchstdrehzahl von 1200 Uml./min, und die Räderübersetzung betrage $1 : 10 \times 1 : 10 = 1 : 100$. Dann würden bei voller Drehzahl des Motors 12 Uml./min an der Kurbelwelle gemacht werden. Der Motor wird aber aus der Ruhe angelassen, am Hubende wieder stillgesetzt und außerdem während der Überwindung der großen Tangentialdrücke vom Arbeitsregler beeinflußt. Seine Geschwindigkeit wird deshalb so verlaufen, wie in Abb. 7 noch deutlicher dargestellt und nachstehend erläutert ist:

1. Der Anlauf bis zur Grunddrehzahl erfolgt mit mindestens der doppelten Nennstromstärke des Motors sehr rasch, da die zu leistende Beschleunigungsarbeit bis zur Grunddrehzahl nur gering ist. Daher sind auch die Verluste im Anlaßwiderstand entsprechend klein. Die Geschwindigkeit steigt also zunächst von 0° aus sehr steil an (Linie 2).

2. Die Beschleunigung bis zur Höchstdrehzahl erfolgt durch Feldschwächung bei kurzgeschlossenem Anlaßwiderstand und daher verlustlos. Die Beschleunigungsstromstärke ist dabei lediglich durch den Arbeitsregler begrenzt, der die Feldschwächung nur soweit zuläßt, daß die vorgesehene Spitzenstromstärke (2 bis 2,75 fache Nennstromstärke) nicht überschritten wird. Bei Beschleunigung wird also durchschnitt-

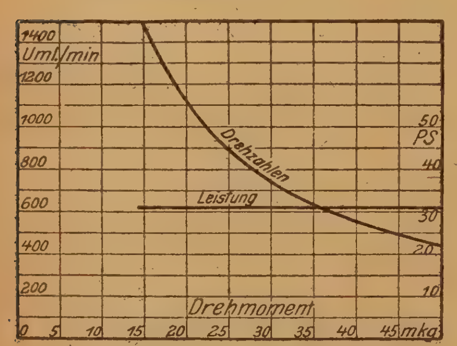


Abb. 1. Kennlinien des Arbeitsreglermotors (TWL 2957).

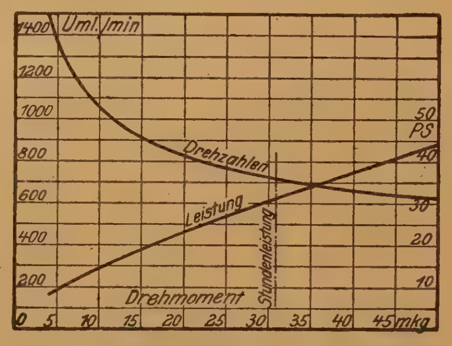
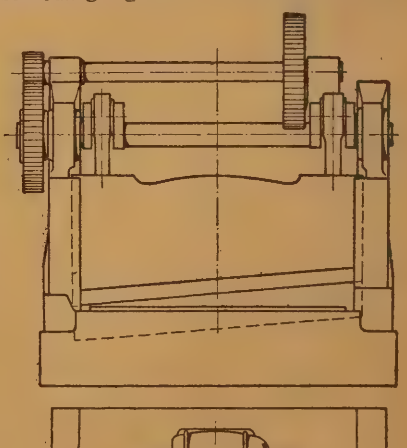


Abb. 2. Kennlinien eines Hauptstrommotors (TWL 2958).



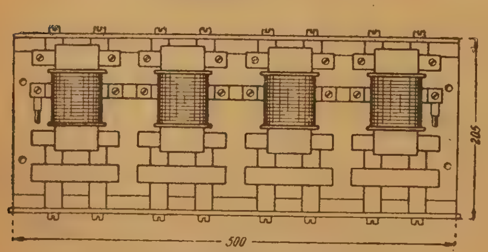


Abb. 3. Arbeitsregler, aus 4 Stromwächtern bestehend (TWL 2959).

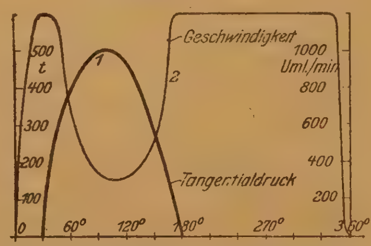


Abb. 4. Tangentialdruck- und Geschwindigkeitsverlauf bei einer Tafelblechschere mit Arbeitsregler-Antrieb (TWL 2960).

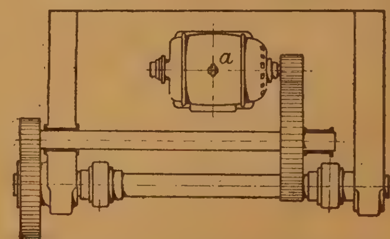


Abb. 5 und 6. Arbeitsregler-Motorantrieb einer schwungradlosen und kupplungslosen Tafel-Blechschere (TWL 2961).

lich dieselbe Leistung wie beim Anlauf aufgewandt, doch muß die Linie 2 dabei etwas flacher als vorher verlaufen, da mit zunehmender Feldschwächung und Geschwindigkeit trotz oder infolge der gleichbleibenden Leistung das Drehmoment entsprechend kleiner wird. Mittlere Motoren (Nennleistung 15 bis 30 kW) werden nach 5 bis 7 Umdrehungen des Motors aus dem Ruhestand beschleunigt, also nach 18° bis 25° Drehung der Kurbel.

3. Verhalten während der Schnittleistung. Der Arbeitsregler ist so eingerichtet, daß er erst eingreift, wenn die vorgesehene Spitzenleistung des Motors erreicht wird. Solange dies nicht der Fall ist, arbeitet der Motor mit seiner Höchstdrehzahl. Der bei 30° Kurbelweg beginnende Tangentialdruck wird also zunächst die Motorgeschwindigkeit unberührt lassen, und zwar so lange, bis etwa ein Viertel seines größten Wertes erreicht ist. Da der Motor dabei mit der vierfachen Grunddrehzahl arbeitet, entspricht dies schon seiner vollen Leistung.

Steigt nun das zu überwindende Drehmoment weiter an, so wird durch das erste Arbeitsreglerelement (Punkt a) das Feld des Motors verstärkt, mithin sein Drehmoment vergrößert und seine Geschwindigkeit vermindert. Dabei wird auch ein Teil der Massenarbeit des Motorankers und des Getriebes frei und zur Überwindung des Lastdrehmomentes mitbenutzt. Da der Tangentialdruck aber weiter ansteigt, so wiederholt sich dieser Vorgang in rascher Folge durch das zweite (Punkt b) und dritte Arbeitsreglerelement (Punkt c), bis der Motor sein größtes Drehmoment bei seiner niedrigsten Drehzahl ausübt. Sodann schwächen die Arbeitsreglerelemente wieder das Feld, so daß noch wäh-

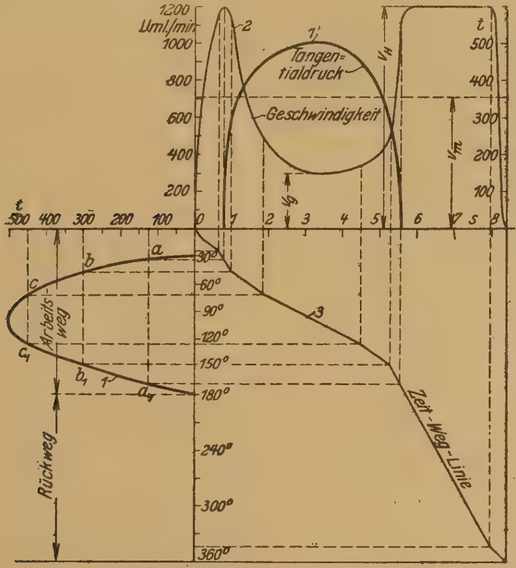


Abb. 7. Darstellung des Zeit-Weg-Verlaufes bei einer Tafel-Blechschere mit Arbeitsregler-Antrieb (TWL 2962).

rend des Schnittes die volle Motorleistung zur Wiederbeschleunigung für den schnellen Rücklauf auf der zweiten Hälfte des Kurbelkreises ausgenutzt wird. Dieser Rücklauf erfolgt daher mit gleichbleibender Höchstgeschwindigkeit.

4. Bremsen. Knapp vor dem Hubende wird der Motor durch einen Grenzschalter auf selbsttätige dynamische Bremsung umgeschaltet. Während dieser Bremsung wird das Feld wieder voll verstärkt, aber nur so lange, bis der Motor stillsteht. Dann wird das Feld selbsttätig ausgeschaltet, so daß der Motor beim Stillstand vom Netz vollständig abgetrennt ist. Die Verzögerung beim Bremsen ist noch etwas größer als die Beschleunigung beim Anlauf (Linie 2). Bei mittleren Motoren erfolgt das Bremsen bis zum Stillstand während 4 bis 8 Motorumdrehungen.

Zeit- und Energieverbrauch. Für die Werkleistung einer derartigen Maschine ist nicht die Arbeitsgeschwindigkeit beim größten Drehmoment maßgebend, sondern die Zeit für einen vollständigen Arbeitsgang (Doppelhub) einschl. der für die Einleitung des Arbeitsganges erforderlichen Griffzeit. Die aus dem Geschwindigkeitsverlauf der Linie 2, Abb. 7, hervorgehende Zeit für einen vollständigen Hub ist in Linie 3 gezeichnet. Die mittlere Geschwindigkeit v_m ist also im vorliegenden Fall um 41 vH geringer als die Höchstgeschwindigkeit v_h, dagegen um 136 vH höher als die Grundgeschwindigkeit v_g.

Bei einem Antrieb, der mit einer unveränderlichen oder nur wenig nachgebenden Geschwindigkeit arbeitet, muß die größte Tangentiakraft T mit der Geschwindigkeit v_m überwunden werden, und die erforderliche Spitzenleistung N_l ist

$$N_l = T\, v_m \quad \text{. . . . . (1).}$$

Bei dem Arbeitsreglerantrieb ist dagegen

$$N_a = T\, v_g \quad \text{. . . . . (2).}$$

Da v_g im vorliegenden Fall bloß 1/2,36 von v_m ist, so beträgt auch die Spitzenleistung des Arbeitsreglerantriebes, trotz gleicher Werkleistung, nur 1/2,36 derjenigen des Antriebes ohne Geschwindigkeitsregelung in weiten Grenzen.

Die unverhältnismäßig hohe Spitzenleistung N_l wird sonst durch Schwungmassen oder Druckmittelsammler ausgeglichen, wodurch aber eine ganze Kette von Nachteilen und Verlustquellen eingefügt werden muß. Der Arbeitsreglerantrieb bewirkt dagegen den Ausgleich schon durch seine Geschwindigkeitsänderung und läßt außerdem dadurch seine im Motoranker und Getriebe vorhandene Massenarbeit fast restlos mitwirken.

Die bei Verwendung von Schwungrädern oder Druckmittelsammlern erforderliche Motornennleistung hängt von der Größe der Schwungmassen bzw. Sammler und von dem Verhältnis der Leerlauf- und Belastungszeiten ab. Im allgemeinen ist die erforderliche Spitzenleistung des Arbeitsreglermotors geringer als bei Schwungradantrieb, während die Nennleistung gewöhnlich weniger als die Hälfte der eines Motors für Schwungradantrieb beträgt. Der Arbeitsreglermotor wird außerdem für aussetzenden Betrieb bemessen, da er während der Pausen zwischen den Arbeitshüben stillsteht, während bei Ausgleichmittelbetrieb der Motor unter Verlust dauernd laufen muß. Der Stromverbrauch des Arbeitsreglerantriebes ist deshalb im Tagesdurchschnitt um 30 bis 50 vH geringer als der des Schwungradantriebes bei gleicher Werkarbeit[1]). Gegenüber Druckmittelausgleich ist die Stromersparnis aber noch bedeutend größer, weil dann weitere Verluste durch Umformung, Undichtheiten usw. auftreten.

Weitere vorteilhafte Betriebseigenschaften.

Außer der Wirtschaftlichkeit im Stromverbrauch und geringer Spitzenbelastung der Stromquelle hat aber der Arbeitsreglerantrieb noch weitere wichtige Vorzüge.

Abkürzung der Arbeitszeit bei leichteren Arbeiten. Schwungradmaschinen und solche mit andern Ausgleichmitteln brauchen für jeden Doppelhub dieselbe Zeit, gleichgültig, ob dabei die schwersten für die Maschine in Betracht kommenden Arbeiten oder die leichtesten verrichtet werden. Beim Arbeitsreglerantrieb ermäßigt sich dagegen die Höchstgeschwindigkeit beim Überwinden des Arbeitsdruckes nur im Verhältnis zu diesem Druck, so daß also bei leichteren Arbeiten die Zeit für einen Doppelhub sich selbsttätig verkürzt. Der Tangentialdruck einer Blechschere beträgt beispielsweise bei der Hälfte der größten Blechdicke nur ein Viertel desjenigen für die volle Blechdicke; es wird daher für Bleche voller Breite und halber Dicke oder darunter der Arbeitsregler überhaupt nicht eingreifen und keine Verzögerung hervorrufen. Da nun meistens die Höchstleistungen, für die die Maschinen gebaut sind, selten oder überhaupt nicht vorkommen, so kann man bei Arbeitsreglerantrieb für die schwersten Arbeiten eine längere Zeit zulassen, ohne die Leistungsfähigkeit für die gewöhnlichen Arbeiten zu beeinträchtigen, d. h. man kann den Antrieb leichter wählen und besser ausnützen.

Man kann aber noch weiter gehen und bei leichteren Arbeiten, die gewöhnlich auch nicht den vollen Hub erfordern, nur mit Teilhüben arbeiten, da beim Arbeitsregler keine besonderen Schwungmassen vorhanden sind und der Reguliermotor sich unter Anwendung der oben beschriebenen selbsttätigen dynamischen Bremsung in kürzester Zeit an einem beliebigen Punkt des Hubes stillsetzen und umsteuern läßt. Auf diese Weise kann man auf einer Tafelblechschere Bleche von geringerer Breite viel rascher schneiden, als solche von voller Breite.

Griffzeit. Für den Zeitaufwand beinahe ebenso wichtig wie die Hubzeit ist aber die Griffzeit. Bei Schwungradmaschinen ist das jene Zeit, die nach dem Einlegen oder Vorbereiten des Werkstückes für das Ergreifen und Betätigen der Bedienungshandhabe der Kupplung und bis zum Wirksamwerden der Kupplung selbst nötig ist. Je nach der Konstruktion der Kupplung sind vom Augenblick des Einrückens bis zur tatsächlichen Mitnahme 30° bis zu einer vollen Kurbelumdrehung zurückzulegen. Somit kann die Griffzeit ebenso lange dauern wie der eigentliche Arbeitshub, auch wenn bei größeren Maschinen ein besonderer Mann nur für die Bedienung der Kupplung vorgesehen wird.

Beim Arbeitsreglerantrieb ist dagegen praktisch keine Griffzeit nötig, weil man in der Regel mit Druckknöpfen arbeitet, die immer bequem greifbar angeordnet werden können und gefühlsmäßig ohne Kraftaufwand bedient werden. Dem Drücken des Knopfes folgt unmittelbar der Anlauf des Motors.

Beim Vergleich zwischen Schwungrad- und Arbeitsreglerantrieb kann man daher für die gleiche Leistungsfähigkeit bei schwerster Arbeit ruhig der Arbeitsreglermaschine eine um 40 bis 100 vH längere Zeit für einen Doppelhub zugestehen und dadurch den Antrieb noch wirtschaftlicher bei geringerer Belastung der Stromquelle gestalten. Nebenbei hat man noch den Vorteil der Geschwindigkeitserhöhung bei leichteren Arbeiten.

Steuerfähigkeit. Während man bei einem Schwungradantrieb nach Einrücken der Kupplung kaum noch in der Lage ist, den Hub aufzuhalten, so daß man bei irgendeiner Störung tatenlos zusehen muß, wie entweder das Werkstück verdorben oder die Maschine selbst zerstört wird, ist man beim Arbeitsreglerantrieb imstande, nicht nur die Bewegung in jedem Augenblick aufzuhalten und umzusteuern, sondern auch selbsttätig jede Überlastung der Maschine zu vermeiden.

[1]) Stromverbrauchrechnung s. AEG-Mitteilungen Mai/Juni 1921.

Überlastungsschutz und Bruchsicherheit. Bei einer Schere oder Presse mit Schwungrad und Kurbelmechanismus wird die Bruchgefahr einmal durch die lebendige Kraft des Schwungrades und dann auch durch das Kurbelgetriebe hervorgerufen. Die Massenarbeit des Schwungrades kann beim Auftreffen auf etwas Unnachgiebiges infolge des kurzen Entladungsweges Kräfte beliebiger Größe hervorrufen, da bei einem Entladungsweg = 0, die Kraft unendlich wird. Anderseits kann auch durch den Kurbeltrieb allein mit einem geringen Drehmoment eine große Kraft hervorgebracht werden, wenn sich die Kurbel in oder in der Nähe der beiden Totpunkte (Kniehebelwirkung) befindet. Die Gefahr durch die Schwungmassen wird beim Arbeitsreglerantrieb vollständig beseitigt und die Gefahr durch den Kurbelantrieb praktisch äußerst eingeschränkt.

Der Totpunkt am Hubanfang ist beim Arbeitsreglerantrieb um so weniger ein Gefahrpunkt, weil von diesem Punkt der Motor aus der Ruhe anläuft. Ein übermäßiger Widerstand würde sich nach etwa 10° Kurbeldrehung, während welcher der am Werkzeugschlitten zurückgelegte Weg — auch wegen des Totganges der Zapfen — noch sehr gering ist, bald zum Stillsetzen des Antriebes führen. Der Totpunkt am Hubende dagegen ist bei den meisten Maschinen, die eine Materialtrennung vornehmen, deshalb ungefährlich, weil der zu trennende Materialquerschnitt, der an dieser Stelle überhaupt vorhanden sein kann, zu gering ist, um übermäßige Kräfte auszulösen. Für Maschinen, bei welchen dies nicht zutrifft, sollte man zweckmäßiger Weise statt des Kurbeltriebes Zahnstangen-, Spindel- oder Hebelantrieb wählen.

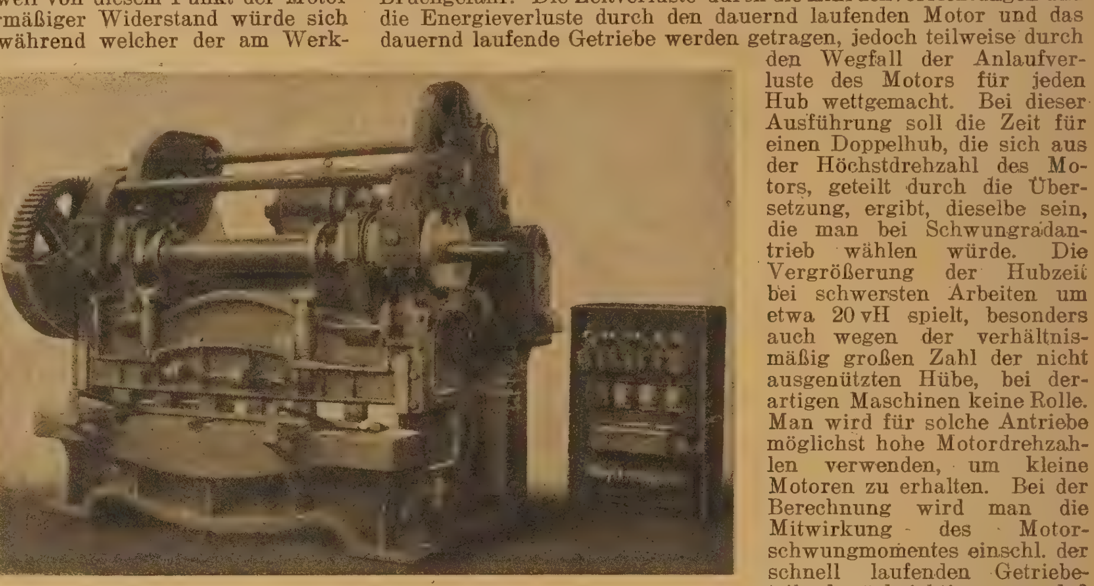


Abb. 8. Tafelblechschere der Maschinenfabrik Schieß mit Arbeitsregler-Antrieb (TWL 2963).

Wie bereits erwähnt, wird beim Arbeitsreglerantrieb eine Drehmomentauslösung vorgesehen, die das Ausüben eines größeren als des vorgesehenen Höchstdrehmomentes verhindert. Dabei kann die Einrichtung so getroffen werden, daß der Motor unter Ausübung seines höchsten Drehmomentes stehen bleibt; die Rückbewegung kann dabei sofort eingeleitet werden, ebenso auch die Weiterbewegung nach erfolgter Entlastung.

Der Motor und das Netz sind in erster Linie durch den Arbeitsregler selbst gegen Überlastung geschützt, da dieser durch Beeinflussung der Geschwindigkeit jeder Überlastung zunächst ausweicht; erst wenn die Überlastung auch bei der niedrigsten Geschwindigkeit und größtem Motordrehmoment weiterbesteht, kommt die Drehmomentauslösung zur Wirkung. Stromstöße durch vorzeitiges Kurzschließen der Anlaßwiderstände oder beim Umsteuern sind durch die selbsttätige Steuerung ausgeschlossen, so daß die Bedienung vollständig rücksichtslos erfolgen kann.

Ausführungsarten und Anwendungsbeispiele.

Die vorstehenden Einzelheiten beziehen sich hauptsächlich auf die Anwendung des Arbeitsreglerantriebes für Tafelblechscheren, weil dies ein möglichst allgemeiner Fall ist, der auch Gelegenheit gibt, einige Nebeneigenschaften des schwungradlosen Arbeitsreglerantriebes zu beachten. Die ersten Versuche mit dem Antrieb wurden demgemäß auch an einer Tafelschere, Abb. 8, und zwar in den Werkstätten der Maschinenfabrik Schieß A.-G., Düsseldorf, vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Versuche haben alle Erwartungen erfüllt und infolge der unmittelbaren Meßbarkeit und Begrenzbarkeit der Drehmomente bei dem schwungradlosen Antrieb auch wertvolle Aufschlüsse über die tatsächlich beim Schneiden auftretenden Kräfte gegeben. Die Schere war für höchstens 18 mm Blechdicke bei Schwungradantrieb vorgesehen; mit dem Arbeitsreglerantrieb konnten aber ohne Überlastung 22 mm dicke Bleche geschnitten werden.

Wurde 25 mm dickes Blech eingelegt, so schnitt das Messer wohl ein; die Schere blieb aber im Schnitt infolge der Drehmomentauslösung stehen, bevor übermäßige Kräfte auftreten konnten. Der Schnitt konnte überhaupt in jedem Augenblick aufgehalten und dann wieder fortgesetzt werden, ohne vorher das Messer zurückziehen zu müssen. Es konnten also beliebig lange Einschnitte gemacht werden; dadurch war es möglich, auf der Tafelschere rechteckige Tafeln auszuschneiden, wobei allerdings die übrigbleibende Blechtafel die schrägen Einschnitte enthält.

Die Wirksamkeit der Drehmomentauslösung zeigte sich auch bei einem ungewollten Vorfall, durch den bei Schwungradantrieb ein Bruch unvermeidlich gewesen wäre. Um an Blech zu sparen, schnitt man bei den Versuchen schmale Streifen. Ein Streifen wurde dabei so schmal, daß ihn die Niederhaltvorrichtung nicht mehr erreichte; er wurde daher seitlich zwischen Ober- und Untermesser hineingezogen und geklemmt, ohne daß die Messer oder die Schere Beschädigungen erlitten hatten.

Mit dem Antrieb der Tafelschere sind aber die Anwendungsmöglichkeiten und die Ausführungsarten der Arbeitsreglerantriebe nicht erschöpft, so daß es nötig ist, die Anwendung an weiteren Beispielen zu verfolgen.

1. Kleinere Stanzen, Lochpressen, Schrotscheren und vereinigte Maschinen (vereinigte Scheren, Stanzen, Profileisenschneider usw.). Bei Maschinen geringerer Leistung, die ohne größere Pausen, also Hub auf Hub benutzt werden, begnügt man sich damit, die Schwungräder wegzulassen, behält aber die Kupplung oder Einrückvorrichtung bei. Dadurch erspart man die Schwungräder mit ihren besonderen Lagern, die damit verbundenen dauernden Verluste und die darin enthaltene verborgene Bruchgefahr. Die Zeitverluste durch die Einrückvorrichtungen und die Energieverluste durch den dauernd laufenden Motor und das dauernd laufende Getriebe werden getragen, jedoch teilweise durch den Wegfall der Anlaufverluste des Motors für jeden Hub wettgemacht. Bei dieser Ausführung soll die Zeit für einen Doppelhub, die sich aus der Höchstdrehzahl des Motors, geteilt durch die Übersetzung, ergibt, dieselbe sein, die man bei Schwungradantrieb wählen würde. Die Vergrößerung der Hubzeit bei schwersten Arbeiten um etwa 20 vH spielt, besonders auch wegen der verhältnismäßig großen Zahl der nicht ausgenützten Hübe, bei derartigen Maschinen keine Rolle. Man wird für solche Antriebe möglichst hohe Motordrehzahlen verwenden, um kleine Motoren zu erhalten. Bei der Berechnung wird man die Mitwirkung des Motorschwungmomentes einschl. der schnell laufenden Getriebeteile berücksichtigen, so daß

$$M_w = i\,(M_g + d) \quad \ldots \quad (3)$$

ist, wobei

M_w = Spitzendrehmoment an der Kurbelwelle in mkg,
i = Übersetzung zwischen Motor und Kurbelwelle,
M_g = Spitzendrehmoment des Motors bei seiner Grunddrehzahl n und
d = Zusatzdrehmoment an der Motorwelle aus der Entladung des Motor- und Triebwerk-Schwungmomentes zwischen der Höchst- und Grunddrehzahl

bedeutet.

Das Zusatzdrehmoment d findet man aus der frei werdenden Massenarbeit

$$A = GD^2 \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{n_t^2 - n^2}{7200}$$

(GD^2 = Schwungmoment), wenn man durch Einfügung der Entladezeit die Leistung N_d berechnet. Aus dieser z. B. in PS berechneten Zusatzleistung ergibt sich dann unter Annahme der mittleren Drehzahl n_m das Zusatzdrehmoment

$$d = \frac{716{,}2\,N_d}{n_m} \quad \ldots \quad (4)$$

Bei selbsttätigen Maschinen, z. B. Blechstanzen mit Zufuhr- und Abstreifeinrichtungen, wird man den Reguliermotor dazu benutzen, um die Anzahl der Arbeitsspiele in der Zeiteinheit auf das größte Maß zu bringen, das Material, Werkzeug und Zufuhr- bzw. Abstreifeinrichtungen zulassen. Man wird deshalb die Hubzahl bei der Motorhöchstdrehzahl reichlich vorsehen und sie je nach der auszuführenden Arbeit durch den Nebenschlußregler willkürlich einstellen oder beschränken. Bei derartigen Schnelligkeitsstanzen kommt dann weder ein Schwungrad noch ein Arbeitsregler zur Anwendung. Ein Ausgleich ist bei solchen Maschinen schon deshalb nicht nötig, weil die Kraftentfaltung nur im unteren Totpunkt mit geringem Drehmoment in Frage kommt. Der Arbeitsregler kann nur insofern von großen Vorteil sein, als er eine allgemeine Überlastung durch zu schnelles Arbeiten bei schwerem Gang (abgenutzte Werkzeuge, harter oder dickerer Werkstoff) selbständig verhindert.

Bei Maschinen, die dagegen nur für Einzelarbeiten benutzt werden, wie vereinigte Maschinen, soll man im Interesse eines billigen und wirtschaftlichen Antriebes die Hubgeschwindigkeit möglichst gering, bzw. die Zeit für einen Hub reichlich wählen, um so mehr, als nur ein geringer Bruchteil der möglichen Hübe ausgenützt wird; denn der größte Teil der Arbeitszeit wird für das Ein- und Ausführen und Richten der Werkstücke aufgewandt.

(Schluß folgt.)

Die statische und dynamische Elastizitätsgrenze
im Materialprüfungs- und Konstruktionswesen.

Von Dr.-Ing. G. Welter, Frankfurt (Main).

Die Reformbedürftigkeit der Materialprüfungstechnik wird an Beispielen a[illegible]n Prüfungs- und Konstruktionswesen dargelegt. Es wird die Forderung aufgestellt, die statische und vor allem die dynam[illegible]wahre Elastizitätsgrenze sämtlicher Konstruktionsstoffe genau zu erforschen, um mit den Anforderungen, die an den neuzeitigen Ma[illegible]enbau gestellt werden, gleichen Schritt halten zu können.

Die Bedeutung der Elastizitätsgrenze.

Daß die Elastizitätsgrenze eine der wichtigsten Anhaltpunkte für die Beurteilung eines Werkstoffes vom prüfungstechnischen Standpunkt aus ist, dürfte allgemein anerkannt sein. Dennoch wird in der Materialprüfungstechnik die Bestimmung der Elastizitätsgrenze so sehr vernachlässigt, daß das elastische Verhalten der Konstruktionsstoffe leider bis jetzt so gut wie gar nicht durchforscht ist. Diejenigen Größen, mit welchen heute noch durchweg in der Materialprüfung gerechnet wird, sind die Bruchfestigkeit und die Bruchdehnung. Auch werden die Proportionalitäts- und die Streckgrenze von Stoffen, bei denen es auf eine größtmögliche Ausnutzung ankommt, gelegentlich bestimmt. Diese Spannungswerte sind auch dem Materialprüfungstechniker ohne weiteres geläufig. Wird jedoch die Frage der Elastizitätsgrenze angeschnitten, so herrscht hierüber selbst in Fachkreisen noch vielfach große Unstimmigkeit.

Daß nun die Elastizitätsgrenze nicht nur in der Werkstoffprüfung, sondern auch beim Konstruieren maßgebende Bedeutung hat und der gesamten erfolgreichen Berechnung von Hochleistungsmaschinen zugrunde gelegt werden muß, sei nachstehend erörtert.

Bei allen Konstruktionen ist eine grundlegende Bedingung, daß sie ihre ursprüngliche Form während und nach der Arbeitsleistung restlos beibehalten. Selbst bei der höchsten vorgesehenen Beanspruchung darf eine merkliche Veränderung nicht auftreten. Dies trifft nur zu, wenn der Werkstoff auch im Falle der Höchstleistung nur u n t e r e l a s t i s c h, d. h. nur bis zur Elastizitätsgrenze, beansprucht wird. Diese Beanspruchung ruft alsdann nur eine vorübergehende elastische Deformation des Werkstoffs hervor, die mit der Beanspruchung auftritt und gleichzeitig mit dieser restlos wieder verschwindet. Im Gegensatz hierzu tritt bei **ü b e r e l a s t i s c h e r** Beanspruchung der Konstruktionsteile neben der vorübergehenden noch eine bleibende Deformation auf; die letztere kann nicht mehr rückgängig gemacht werden und führt je nach dem Grad der Überbeanspruchung nach und nach unmittelbar oder mittelbar eine Zerstörung der Bauteile herbei.

Verhalten eines elastisch beanspruchten Maschinenteils.

Das Verhalten eines unter- und überelastisch beanspruchten Maschinenteils sei kurz an folgendem Beispiel erläutert. Das Gestänge (Kurbel- und Kolbenstange) einer Hochleistungsdampfmaschine wird sich bei unterelastischer Beanspruchung während eines Hubes zwar deformieren und mit der Höchstlast schätzungsweise um Bruchteile eines Millimeters in der Gesamtlänge zunehmen. Gegen Hubende wird diese Verlängerung entsprechend der Last jedoch abnehmen, um am Totpunkte gänzlich wieder zu verschwinden. Ist nun das Gestänge nicht hinreichend bemessen (vielleicht aus Unkenntnis der wahren Elastizitätsgrenze des Werkstoffes), so daß eine überelastische Beanspruchung auftritt, so wird infolge der Überbelastung bei jedem Hub neben einer elastischen eine zusätzliche, gering bleibende Deformation in Erscheinung treten, wobei die erste nach Beseitigung der äußeren Kräfte auf Null zurückgeht, während die zweite eine äußerst kleine bleibende Verlängerung des Gestänges veranlaßt. Diese geringen bleibenden Formänderungen treten nun, vorausgesetzt, daß eine wesentliche Verfestigung des Werkstoffs ausgeschlossen ist, bei jedem Hub auf. Sie addieren sich, so daß das Gestänge im Laufe der Zeit länger wird und entweder infolge der zusätzlichen Spannungen bricht (Dauerbruch), oder die Maschine zerstört, indem bei kleinem schädlichem Raum der Kolben an den Zylinderdeckel anstößt.

In Ermangelung genauer Unterlagen über das elastische Verhalten von Konstruktionsstoffen wird heute noch im Maschinenbau größtenteils mit Annahmen gerechnet, die sich auf Grund bewährter Konstruktionen ergeben haben und mehr oder weniger schätzungsweise festgestellt worden sind. So werden dem Bau von Maschinen Festigkeitswerte zugrunde gelegt, die im Durchschnitt einen Bruchteil ($^1/_3$ bis $^1/_{10}$) der beim Zugversuch ermittelten Höchstlastgrenzen der Konstruktionsstoffe darstellen. Bei Flußeisen werden z. B. bei wechselnder Beanspruchung nur etwa 4 bis 5 kg/mm² Spannung zugelassen, während es eine Bruchlast von rd. 30 bis 50 kg/mm² aufweist (vgl. „Hütte": Des Ingenieurs Taschenbuch I [1923] S. 585 und 604). Darüber hinaus wird bei Berechnung von Konstruktionen je nach der Belastung des Konstruktionsteiles vielfach noch eine Sicherheit mit einkalkuliert, die sich etwa auf das 5- bis 8fache dieser Werte beläuft. Im Maschinenbau werden somit die bei der Berechnung verwendeten zulässigen Festigkeitzahlen der Werkstoffe auf Grund der Höchstlastgrenze **g e f ü h l s m ä ß i g** festgelegt und diese Zahlen vielfach noch durch eine genügend große Sicherheitsziffer, die ebenfalls mehr oder weniger willkürlich ermittelt worden ist, dividiert

Es ist nun ohne weiteres klar, daß ein solches Vorgehen beim Bau von Maschinen zwar erfahrungsgemäß zuverlässige Konstruktionen mit hoher Sicherheit und weitgehender Überlastbarkeit hervorbringt, daß es sich jedoch nicht zum Bau von Hochleistungsmaschinen eignet, die neben einer wohlbemessenen Sicherheit ein möglichst geringes Gesamtgewicht aufweisen müssen. Diese Forderungen werden vom technischen und auch vom wirtschaftlichen Gesichtspunkt aus immer dringender. Maschinen, die der Anforderung der Leichtigkeit, Sicherheit und Billigkeit gewachsen sind, können nicht einzig und allein auf Grund von Zahlen konstruiert werden, die auf der willkürlich verkleinerten Zerreißfestigkeit der Werkstoffe aufgebaut sind. Wie am Beispiel des Gestänges einer Dampfmaschine bereits gezeigt wurde und wie des weitern auch aus einer einfachen Überlegung hervorgeht, ist bei der Konstruktion in erster Linie die Elastizitätsgrenze eines Stoffes maßgebend, wenn wirklich wirtschaftliche und zweckentsprechende Maschinen und Geräte geschaffen werden sollen.

Bis jetzt aber scheiterte eine Berechnung nach diesen Gesichtspunkten daran, daß so gut wie gar keine zuverlässigen Zahlen über die wahre Elastizitätsgrenze, selbst der gebräuchlichsten Konstruktionsstoffe, bekannt sind. Sogar über den Begriff der Elastizitätsgrenze bestehen vielfach noch Meinungsverschiedenheiten, so daß des öfteren nicht einmal völlige Klarheit darüber zu erlangen ist, was unter Elastizitätsgrenze eines Stoffes zu verstehen ist. Überblickt man in dieser Hinsicht die Literaturangaben, so kann man die verschiedenartigsten Begriffsbestimmungen der Elastizitätsgrenze finden. Einerseits wird eine bleibende Formänderung von 0,02 vH, vielfach auch 0,03 vH, 0,05 vH, 0,1 vH und 0,2 vH als praktische Elastizitätsgrenze angesehen. Anderseits kommen gelegentlich auch Verwechslungen mit der Proportionalitätsgrenze, unter Umständen sogar mit der Streck- und Fließgrenze der Stoffe vor. Andre Forscher geben zwei Elastizitätsgrenzen an und sprechen von einer untern und obern Elastizitätsgrenze, die mikroskopisch ermittelt werden.

Die Ermittlung der wahren Elastizitätsgrenze.

Da somit die Anschauungen über die Elastizitätsgrenze noch weit auseinander gehen, so sei hier erwähnt, daß vom Standpunkt der Stoffprüfung unter Elastizitätsgrenze diejenige höchste Belastungsstufe verstanden wird, bei welcher nach Entlastung eine größere bleibende Formänderung als 0,001 vH der Meßlänge nicht mehr vorhanden ist[1]. Die wahre Elastizitätsgrenze kann auch mit elastischer Höchstlastgrenze bezeichnet werden.

Daß nun die wahre Elastizitätsgrenze (0,001 vH-Grenze) selbst bei den gebräuchlichsten Werkstoffen nicht zuverlässig bekannt ist, dürfte in erster Linie darauf zurückzuführen sein, daß die praktische Ermittlung dieser Werte im Laboratorium auf erhebliche Schwierigkeiten stößt. Die Einrichtungen zur Wahrnehmung dieser nahezu unfaßbar kleinen Größen waren bis jetzt ziemlich unvollkommen ausgebildet, so daß die auf Grund einfacher Versuche ermittelten Werte nur schwer miteinander in Einklang zu bringen waren. Wenn auch die Spiegelapparate nach Martens-Heyn oder nach Bauschinger Vorrichtungen darstellen, die die Ermittlung von Längenänderungen unterhalb eines tausendstel Millimeters zulassen, so ist doch die weitere Einrichtung, die zur Bestimmung der wahren Elastizitätsgrenze nötig ist, so mangelhaft, daß nur in den seltensten Fällen zuverlässige Vergleichwerte gewonnen werden.

Die gebräuchliche Einrichtung weist verschiedene Fehlerquellen auf, die zum Teil auf den Probestab selbst, auf die Befestigung der Spiegelklemmen an diesem, auf die Art der Belastung, auf die Befestigung des Probestabes in der Maschine, auf die Konstruktion der Zerreißmaschine usw. zurückgeführt werden können[2]. Bei Beseitigung sämtlicher Fehlerquellen, die beim Versuch auftreten können, lassen sich bleibende Längenänderungen von rd. 0,001 mm mit ziemlich großer Sicherheit feststellen. Eine solche Genauigkeit genügt nun durchaus, um die wahre Elastizitätsgrenze von Werkstoffen beim Zugversuch praktisch genau zu ermitteln. Beim Stauchversuch dürften insofern etwas abgeänderte Versuchsbedingungen erforderlich sein, als zur Verhütung von Knickungserscheinungen nur verhältnismäßig kurze Versuchstäbe benutzt werden können, bei denen u. a. die Art der Auflagerung und die Befestigung der Spiegel von ausschlaggebender Bedeutung für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sein können. Auch beim Biege- und Verdrehversuch bietet die Ermittlung der wahren Elastizitätsgrenze keine unüberwindlichen Schwierigkeiten.

---

[1] Vgl. Internationaler Materialprüfungskongreß Brüssel 1906.

[2] Nähere Angaben hierüber vgl. Elastizität und Festigkeit von Spezialstählen bei hohen Temperaturen von Dr.-Ing. G. W e l t e r , Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 230.

Wenn es nun aber bereits einer äußersten Sorgfalt bedarf, die Elastizitätsgrenze von Metallen und Legierungen bei statischer Beanspruchung zu ermitteln, wie dies in den erwähnten Fällen (Zug-, Druck-, Biege- und Verdrehversuche) zutrifft, so dürfte es noch wesentlich schwieriger sein, diese Grenze bei dynamisch beanspruchtem Werkstoff laboratoriumstechnisch zu erfassen. Dennoch ist die zahlenmäßige Kenntnis dieser Spannungsgrenzen für einen erfolgreichen Bau von hochwertigen Maschinen dringend erforderlich, so daß sich diese Lücke von Tag zu Tag mehr und mehr unangenehm bemerkbar macht. Es wird immer größerer Wert auf die Kenntnis dieser Faktoren gelegt, um auf diesem Weg einwandfreie wirtschaftliche Konstruktionen mit bestimmtem Sicherheitsgrad schaffen zu können.

Deutlicher noch tritt die Forderung, die wahre Elastizitätsgrenze zu ermitteln, bei den Zerreißschaubildern von Werkstoffen in Erscheinung. In Abb. 1 sei das Schaubild von Flußeisen wiedergegeben. Als Höchstlastgrenze sei eine mittlere Festigkeit von 40 kg/mm² bei einer Dehnung von 20 vH angenommen, während die wahre Elastizitätsgrenze des Werkstoffs bei 20 kg/mm² liegt.

Auf Grund der im Maschinenbau üblichen Berechnung wird nun für Flußeisen bei wechselnder Zugbeanspruchung eine mittlere Spannung von nur 4 kg/mm² zugelassen (vgl.: „Hütte", Des

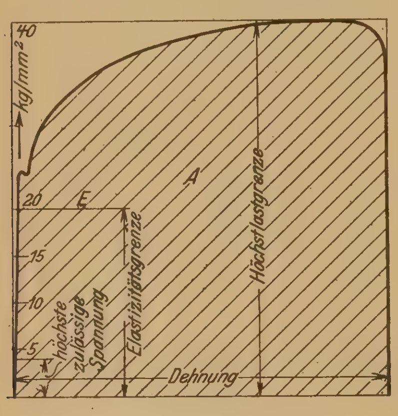



Abb. 1. Zerreißdiagramm von Flußeisen.

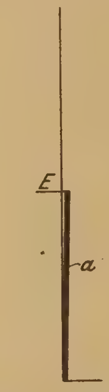


Abb. 2. Elastisch beanspruchtes Flußeisen.

Ingenieurs Taschenbuch I, 1923 S. 604). Bei Verwendung dieses Zahlenwertes ist somit in der Konstruktion eine zehnfache Sicherheit gegenüber der Bruchlast enthalten, abgesehen von einer darüber hinausgehenden Überbemessung, die im Maschinenbau infolge unzulänglicher Angaben über die wahre Elastizitätsgrenze üblich ist. Ferner wird beim Berechnen der gesamten Belastung einer Maschine in gewohnter Weise vom Konstrukteur mit einer sehr hohen Sicherheit gearbeitet, indem Belastungszahlen angenommen werden, die vielfach weit über den ungünstigsten Fall hinausgehen, der jemals unter den denkbar schlechtesten Bedingungen eintreten kann. Alle diese übertriebenen Vorsichtsmaßnahmen dürften zum großen Teil aus dem Gefühl heraus entstanden sein, daß einerseits eine unbedingte Sicherheit der Konstruktion vorhanden sein, anderseits jedoch mit Werkstoffwerten gerechnet werden muß, die als ganz unzureichend bekannt sind. Selbst wenn die zulässige Beanspruchung des Werkstoffes von etwa 4 kg/mm² auf die wahre Elastizitätsgrenze, die bei 20 kg/mm² liegt, bezogen wird, ist immer noch eine fünffache Sicherheit in der gesamten Konstruktion vorhanden. Aber auch diese Sicherheit dürfte vielfach noch wesentlich zu hoch sein und könnte je nach Art der Maschine und Beanspruchung bedeutend verringert werden.

Die Sicherheit unserer Konstruktionen.

Wie bereits erwähnt, gilt als oberster Grundsatz sämtlicher Konstruktionen die Forderung, daß eine Deformation der Bauteile selbst bei höchster Beanspruchung nicht eintreten darf. Hieraus geht hervor, daß einzig und allein die wahre Elastizitätsgrenze der Konstruktionsstoffe hierfür maßgebend ist, vorausgesetzt, daß der Werkstoff an sich gleichmäßige Beschaffenheit aufweist, von der man sich durch häufigere Prüfung seiner mechanischen Werte ohne weiteres überzeugen kann. Bei genauer Kenntnis des maßgebenden Kriteriums sämtlicher Konstruktionsstoffe würde allgemein eine weit sicherere Grundlage zur Berechnung aller Bauteile geschaffen sein. In erster Linie könnte völlige Klarheit darüber erzielt werden, daß die Konstruktion bei einer bestimmten Sicherheit infolge eines möglichst geringen Stoffaufwandes am wirtschaftlichsten ist. Eine Maschine, die aus Werkstoff mit genau bekannter Elastizitätsgrenze hergestellt ist und außerdem eine bestimmte Sicherheit hat, die den Betriebsbedingungen angepaßt ist, dürfte wesentlich wirtschaftlicher sein und viel mehr Anklang in der Praxis finden als schwere, überbemessene Maschinen, die befähigt sind, Belastungen auszuhalten, die niemals im Betrieb auftreten.

Im Zusammenhang hiermit sei noch auf den überelastischen Verlauf des Zerreißdiagramms hingewiesen, auf den, wohl aus Unkenntnis der tatsächlichen Betriebsbeanspruchungen, im Gegensatz zur Elastizitätsgrenze bis jetzt viel zu viel Wert gelegt wird. Um den in Abb. 1 wiedergegebenen Flußeisenstab zum Bruch zu bringen, ist ein Arbeitsaufwand erforderlich, der der schraffierten Fläche *A* entspricht. Nun werden aber Bauteile im Betriebe bei normaler Arbeitsweise niemals über die Elastizitätsgrenze *E* hinaus beansprucht. Die Arbeit, die von so beanspruchten Bauteilen aufgenommen wird, entspricht etwa der in Abb. 2 wiedergegebenen Fläche *a*. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß bei dieser Abbildung die elastische Dehnung in sehr übertriebenem Maße angenommen wurde, da die geringfügige elastische Längenänderung in dem der Abb. 1 zugrunde liegenden Maßstab in Wirklichkeit nicht wiedergegeben werden kann. Vergleicht man nun die beiden Arbeitsdiagramme gemäß Abb. 1 und 2, so erkennt man, daß die bei Betriebshöchstlast der Konstruktion erforderliche Arbeitsaufnahme des Werkstoffs nur einen äußerst geringen Bruchteil (schätzungsweise $^1/_{100}$ bis $^1/_{1000}$) derjenigen Arbeit darstellt, welche den Werkstoff in Wirklichkeit aufnehmen kann, ehe der Bruch erfolgt. Diese Tatsache allein dürfte sehr viel bezüglich des Spannungs-Dehnungsdiagramms der Werkstoffe, die für wirtschaftliche Konstruktionen Verwendung finden, zu denken geben.

Nun könnte allerdings eingewendet werden, daß die nach dem Schaubild noch verfügbare Arbeit eine weitere Sicherheit darstellt, die bei außergewöhnlichen Beanspruchungen der Konstruktion doch noch zustatten kommen könnte. Hierzu sei bemerkt, daß, abgesehen von der üblichen außerordentlichen Überbemessung der Maschinenteile, Reserven dieser Art gar nicht in Frage kommen, vielfach sogar nicht einmal erwünscht sind. Z. B. dürfte das bei den hauptsächlichsten bewegten Bauteilen von Turbinen, Dynamomaschinen, Turbogeneratoren, Dampfmaschinen, Lokomotiven, Motorwagen usw. größtenteils der Fall sein. Eine Beanspruchung des Werkstoffes bis zur Fließgrenze ruft vielfach bereits eine so starke Deformation des Bauteiles hervor, daß, falls diese während des Betriebes auftritt, die Maschine zumeist völlig zerstört wird. In diesem Fall dürfte die Arbeitsreserve des Werkstoffes (*A*, Abb. 1) gegenüber den gewaltigen Energien, die beim Bruch frei werden, keinerlei Bedeutung haben. Im Gegensatz hierzu kann es unter Umständen sogar erwünscht sein, daß der Werkstoff in einem solchen Fall keine sehr große Arbeitsleistung aufnimmt, da diese nur eine Zerstörung von weiteren Maschinenteilen nach sich ziehen würde.

Bei einigen Sonderkonstruktionen jedoch kann ein großes Arbeitsvermögen des Werkstoffes von gewissem Vorteil sein. Zutreffend dürfte dies bei freitragenden Bauteilen sein, die gegebenenfalls eine erhebliche Deformation zulassen müssen, ohne daß ein Bruch eintreten darf. Dies hat aber auch dann nur Sinn, wenn die bei der Deformation auftretenden gesamten Kräfte nicht größer sind, als sie der Werkstoff durch Deformation aufnehmen kann, da sonst trotzdem Bruch erfolgen würde. Im besonderen gilt dies für Konstruktionen, wo Menschenleben auf dem Spiel stehen, wie dies z. B. bei Brücken, Türmen, Untergestellen von Wagen und Motorwagen, Flugzeugflügeln, Achsen usw. der Fall ist. Bei diesen Konstruktionen kann ein großes Arbeitsvermögen erwünscht sein, damit bei unvorhergesehener Überbelastung durch Deformation der Bauteile eine Zerstörung unter Umständen im Beginn bemerkt und so vermieden werden kann.

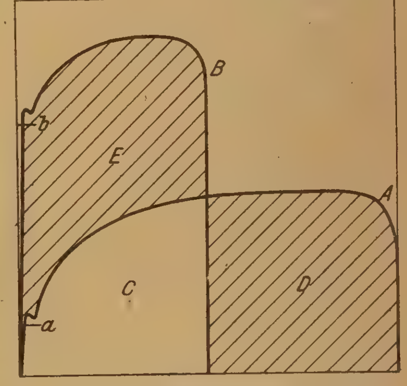


Abb. 3. Zerreißdiagramm von zwei Materialien gleichen Arbeitsvermögens.

Aber auch hier dürfte eine zu starke Überbemessung oder zu hohe Anforderung an den Werkstoff wenig Sinn haben, da es doch wohl gleichgültig sein dürfte, ob die Achse eines Motorwagens beim Anprall an einen Baum mit mehr als 100 km/h Geschwindigkeit sich verbiegt oder bricht. Desgleichen ist es konstruktionstechnisch belanglos, wenn ein Flugzeug aus 1000 m Höhe abstürzt und die Bauteile sich hierbei verbiegen oder brechen. Maßgebend ist nur, daß bei unvorhergesehenen Stoßbeanspruchungen, die aus wirtschaftlichen und konstruktiven Gründen nicht zu hoch gewählt werden können, die Bauteile einen genügenden Widerstand leisten müssen, ohne zu brechen. Übertriebene Sicherheit nach dieser Richtung dürfte der Konstruktion mehr schaden als nützen. Jedenfalls sind die Grenzen von Fall zu Fall, wenn möglich zahlenmäßig, festzulegen und die Werkstoffe auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen diese Beanspruchungsart zu prüfen.

Auswahl von Werkstoffen.

Im Zusammenhang hiermit dürfte die weitere Frage über die Wahl zweier Werkstoffe, die das gleiche Arbeitsvermögen, jedoch verschieden hohe Elastizitätsgrenzen aufweisen, von Be-

deutung sein. Gemäß Abb. 3 sind zwei Arbeitsdiagramme von Werkstoffen dieser Art wiedergegeben. Der Werkstoff der Zerreißkurve *A* habe eine verhältnismäßig niedrige Elastizitätsgrenze *a*. Das gesamte Arbeitsvermögen des Stoffes entspricht der Summe der Flächen von *C* und *D*. Ein gleiches Arbeitsvermögen weist der Werkstoff der Zerreißkurve *B* auf. Es setzt sich aus *C* und *E* zusammen. Da die Arbeitsfläche *C* den beiden Diagrammen *A* und *B* gemeinsam ist und außerdem die Fläche *D* der Fläche *E* etwa entspricht, ist keinerlei Unterschied in den Arbeitsvermögen dieser beiden Stoffe vorhanden. Der Werkstoff *B* unterscheidet sich jedoch von *A* durch eine wesentlich höhere Elastizitätsgrenze und eine etwa doppelt so große Bruchfestigkeit. Bei der Wahl eines geeigneten Stoffes für Konstruktionszwecke dürfte es ohne weiteres klar sein, daß *B* gegenüber *A* weitaus die größten Vorteile bietet. Infolge seiner weit höheren Elastizitätsgrenze kann *B* einerseits wesentlich mehr als *A* beansprucht werden, oder unter Voraussetzung gleicher Sicherheitsziffern wird eine aus *B* hergestellte Konstruktion bedeutend kleinere Querschnitte haben als eine Konstruktion, die aus *A* gefertigt ist. Anderseits wird bei gleicher Beanspruchung *B* gegenüber *A* wesentlich im Vorteil sein, da *B* eine viel größere Überlastbarkeit als *A* zuläßt. Für sämtliche Konstruktionen, bei denen der Werkstoff keineswegs über die Elastizitätsgrenze beansprucht werden darf, was eigentlich die unbedingte Voraussetzung sämtlicher Konstruktionen sein muß, ist der Werkstoff *B* zu verwenden, da er erheblich wirtschaftlicher und zweckentsprechender als *A* ist.

Aber selbst bei Konstruktionen, bei denen mit einer ausnahmsweise höheren zulässigen Deformation als der elastischen gerechnet werden muß, ist, gleiche Beanspruchung vorausgesetzt, wiederum dem Werkstoff *B* der Vorzug zu geben, da diese Beanspruchungen bei *A* bereits überelastische Spannungen hervorrufen und bei Dauerbeanspruchungen zum Bruch führen können. Beim Werkstoff *B* hingegen liegen diese Spannungen noch weit unterhalb der Elastizitätsgrenze, so daß die gesamte Konstruktion hierdurch keineswegs nachteilig beeinflußt werden kann. Selbst bei einem geringern Arbeitsvermögen von *B* gegenüber *A* wäre *B* mit Rücksicht auf die weit höhere Elastizitätsgrenze dennoch vorzuziehen. Zu einem gleichen Ergebnis kommt man bei Stoffen, die eine noch kleinere Dehnung, dafür aber eine höhere Elastizitätsgrenze als der Werkstoff *B* haben. Diese Überlegungen haben jedoch nur Geltung bei Konstruktionen, deren Werkstoff etwa unter den gleichen Bedingungen beansprucht wird, wie das beim Zerreißversuch der Fall ist.

Bei dynamischen, insbesondere Stoßbeanspruchungen dürften die Werte, wie sie am Pendelschlagwerk, beim Schlagzerreiß- oder Schlagbiegeversuch erhalten werden, maßgebend sein, worüber jedoch so gut wie gar keine Unterlagen vorhanden sind. Dies gilt selbst für die gebräuchlichsten Konstruktionsstoffe, von denen weder in bezug auf die Lage der Schlag-Elastizitätsgrenze noch in bezug auf den überelastischen Verlauf der Schlagbeanspruchung zahlenmäßige Angaben vorliegen. Sobald über diese Punkte in der Materialprüfungstechnik völlige Klarheit besteht, dürfte auch die Forderung der Mindestdehnung, die ebenfalls aus dem Gefühl der Unkenntnis des dynamischen Verhaltens der Werkstoffe heraus auf eine überschüssige Arbeitsreserve hinzielt, an Bedeutung wesentlich verlieren, da sie, abgesehen von der Kaltbearbeitung (wie Biegen, Drücken usw.) der Werkstoffe, für den Konstrukteur keine positive Unterlage mehr darstellt.

Die Anschauung, die Auswahl eines Baustoffes sei nur vom Gesichtspunkt der Festigkeit und Dehnung durchzuführen, dürfte mithin keineswegs mehr für neuzeitliche Konstruktionen haltbar sein. Vielmehr ist in erster Linie die wahre Elastizitätsgrenze von statisch, insbesondere aber dynamisch beanspruchten Werkstoffen neben den Ermüdungserscheinungen von maßgebender Bedeutung. Je höher die wahre Elastizitätsgrenze bei einem Werkstoff liegt, um so mehr dürfte er für die Herstellung hochwertiger Konstruktionsteile verwendbar sein. Inwiefern jedoch weiterhin noch mit einer Mindestdehnung und mit einem bestimmten überschüssigen Arbeitsvermögen der Werkstoffe gerechnet werden muß, hängt in erster Linie von äußeren nicht nachprüfbaren Einflüssen der Konstruktion sowie von der Art der Konstruktionsteile und ihrer Beanspruchung ab. Auf jeden Fall ist bei gleichem Arbeitsvermögen ein Werkstoff mit hoher Elastizitätsgrenze einem solchen mit niedriger Elastizitätsgrenze in weitaus den meisten Fällen unbedingt überlegen.

Schluß.

Vom Standpunkt der Werkstoffprüfung aus muß daher die Forderung der Bestimmung der wahren Elastizitätsgrenze durch Feinmessung sowohl von statisch wie auch dynamisch beanspruchten Werkstoffen aufgestellt und mit allen Mitteln versucht werden, eine befriedigende Lösung nach dieser Richtung hin zu finden. Auf diese Weise wird eine große Lücke, die zwischen Werkstoffprüfung und Konstruktion seit langem besteht, ausgefüllt, und zwar zu dem Zweck, die gesamte Technik durch zweckdienliche, zuverlässige und wirtschaftliche Bauten, Maschinen und Geräte wesentlich zu bereichern. [2112]

Bearbeitbarkeit von Aluminiumgußlegierungen, insbesondere von Silumin.

Über Versuche zur Feststellung der Bearbeitbarkeit von Aluminiumlegierungen, die zum größten Teil in dem Versuchsfeld für Werkzeugmaschinen der Technischen Hochschule Charlottenburg ausgeführt wurden, berichtet die „Werkstattstechnik" vom 15. September 1923. Die Versuche erstreckten sich:

1. auf die deutsche Legierung mit 10 vH Zn, 2 vH Cu und Spuren von Silizium, von 15 kg/mm² Festigkeit und 2 bis 4 vH Dehnung,
2. auf die amerikanische Legierung mit 8 vH Cu und Spuren von Silizium, von 12 kg/mm² Festigkeit und 1 bis 2 vH Dehnung,
3. auf Silumin mit 11 bis 14 vH Silizium, von 20 kg/mm² Festigkeit und 5 bis 10 vH Dehnung.

Die S ä g e v e r s u c h e ergaben bei trockener Bearbeitung die kürzeste Schnittzeit für die amerikanische Legierung. Bei Schmierung mit Petroleum war die Schnittzeit für die Legierungen ungefähr gleich.

Beim Bearbeiten auf der D r e h b a n k wurde festgestellt, daß die Schnittgeschwindigkeit, die bedeutend größer als bei Eisen und Kupferlegierungen ist, und ein kleiner Vorschub erheblichen Einfluß auf die Schnittfläche haben. In den meisten Fällen muß der Drehstahl geschmiert bzw. gekühlt werden. Einzelne Stahlformen sind besonders geeignet, jedoch ist ein genaues Einhalten der Schneidwinkel nicht unbedingt erforderlich. Beim Bearbeiten auf der R e v o l v e r b a n k ergibt bei gleichen Arbeitsbedingungen die deutsche Legierung die saubersten Schnittflächen.

Beim F r ä s e n sind die deutsche und die amerikanische Legierung in weiten Grenzen von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub unabhängig, während für Silumin die Grenzen enger sind. Zum Fräsen von Silumin ist außerdem ein grobzahniges Werkzeug unbedingt erforderlich, während für die deutsche und die amerikanische Legierung Fräser der gewöhnlichen Ausführungsart genügen. Unter Berücksichtigung der durch die Versuche ermittelten Bedingungen lassen sich Nuten leicht in die Legierungen einarbeiten.

Bei B o h r u n g e n genügen für die deutsche und die amerikanische Legierung die normalen Spiralbohrer, für Silumin hat sich ein normaler Spiralbohrer mit einer Spitze von 80° bei hoher Schnittgeschwindigkeit am vorteilhaftesten erwiesen.

Beim G e w i n d e s c h n e i d e n mit Spitzstählen wurde für die deutsche und die amerikanische Legierung bei trockener und nasser Bearbeitung ein sehr gutes Gewinde erzielt, in Silumin lassen sich bei Gebrauch eines Schmiermittels Gewinde sauber einschneiden. Mit Gewindebohrer eingeschnittene Gasgewinde waren bei allen drei Legierungen nicht einwandfrei. Besondere Gewindebohrer unter Berücksichtigung der Schnittgeschwindigkeit können diesen Übelstand beseitigen. Zum Ausdrehen sämtlicher Legierungen benutzt man am besten Zweischneider mit scharfen Ecken und parallelen Seiten.

S c h m i e r u n g ist bei Aluminiumversuchen unbedingt empfehlenswert, meist sogar notwendig, Seifenwasser ist sehr vorteilhaft. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß für die Bearbeitung der drei Aluminiumlegierungen keinerlei Schwierigkeiten bestehen. [M 547] Sd.

Vorsteven aus Platten und Winkeln.

Wie die einzelnen Schiffsteile (Ruder, Ruderträger, Wellenhosen, Schlingerkiele) tatsächlich am Schiffswiderstand beteiligt sind, ist heute noch nicht geklärt. Man macht zwar Modellversuche mit und ohne Anhänge, aber ob sich der Beitrag der Anhänge zu dem Gesamtwiderstand eines Schiffes aus dem Modellversuch genau berechnen läßt, ist eine offene Frage. Man findet z. B. oft, daß der Widerstandsunterschied, der sich aus Versuchen mit und ohne Schlingerkiele ergibt, kleiner ist als der Reibungswiderstand der Schlingerkiele und könnte hieraus schließen, daß der Formwiderstand durch die Schlingerkiele verkleinert wird. Vor solche Schlüsse wird man bei Versuchen nach dem Froudeschen Schleppverfahren leicht gestellt, und man geht ihnen, wenn die Arbeit drängt, gern aus dem Wege.

Die Ansichten über den Einfluß des Vorstevens auf den Schiffswiderstand sind geteilt und haben sich im Laufe der Zeiten sehr geändert. Man hat besonders bei Torpedobooten einen möglichst scharfen Vorsteven benutzt, eine Maßnahme, die nicht sehr glücklich erscheint, wenn man beachtet, wie der Vorsteven bei hoher Geschwindigkeit bei Torpedobooten austaucht. Daß gegen einen abgerundeten Vorsteven, wenn man ihn von der Widerstandfrage aus betrachtet, nichts einzuwenden ist, lehrt vor allem das Verhalten der Torpedos, deren Kopf man nahezu halbrund gestalten kann, ohne daß ihre Schnelligkeit abnimmt. Der für den Widerstand günstige Einfluß der Tropfenform ist in der Luftfahrt viel später als beim Torpedo — man kann sagen zu spät — erkannt worden.

Jetzt kommt die Nachricht, daß eine der italienischen Werften, die sich durch ihre Erfindungsgabe bekanntlich besonders auszeichnen, einen aus Platten und Winkeln gebauten abgerundeten Vorsteven von 250 mm kleinstem Halbmesser bei verschiedenen Schiffen angewandt hat („Werft, Reederei, Hafen" vom 7. November 1923 Bd. 4). Man will damit folgende Vorteile erzielen:

1) Geringe Baukosten,
2) leichtere Verletzungen und daher geringere Ausbesserkosten beim Rammstoß,
3) günstigere Widerstandsverhältnisse. [M 2048] Dr. W. S.

CHRONIK 1923

Wie zu Beginn des vergangenen Jahres bringen wir in den ersten Heften des neuen Jahrganges kurzgefaßte Übersichten über die Entwicklung und den Stand der einzelnen Zweige des Ingenieurwesens, soweit bemerkenswerte Fortschritte zu verzeichnen sind. Die Fachgebiete sind nach folgenden Hauptgruppen geordnet: Maschinenwesen (Kraft- und Arbeitsmaschinen) und Elektrotechnik — Rohstoffe (Gewinnung und Verarbeitung) sowie technologische Fachgebiete — Bauingenieurwesen — Verkehrswesen (Land-, Wasser- und Luftverkehr, Nachrichtenwesen) — Gesundheitsingenieurwesen — Gemeinsame Arbeitsgebiete (Wärmewirtschaft, Materialprüfung, Normung, technisches Schulwesen).

Dampfkraftanlagen.

Hochdruck und Hochüberhitzung

In der Entwicklung der Dampfkraftanlagen sind im letzten Jahr erhebliche Fortschritte zu verzeichnen durch die Steigerung von Dampfspannung und Dampftemperatur[1]). In Deutschland sind mehrere große Kesselanlagen für 32 und 34 at im Bau, und die Verwendung von Dampfhöchstdrücken von 60 bis 110 at und von Dampftemperaturen bis zu 475° ist in einzelnen Fällen verwirklicht worden. Die neuen Tabellen von Knoblauch, Hausen und Raisch[2]) mit den dazugehörigen *JS*- und dergl. Diagrammen, die von den Verfassern auf Grund von Versuchen über die spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes aufgestellt sind, geben eine sichere Unterlage für die thermodynamischen Werte des Hoch- und Höchstdruckdampfes.

Während die Bauart der Kessel bis zu einem Betriebsdruck von 34 at sich den bisherigen Bauarten für hohe Drücke ohne grundlegende Änderung anschließt, setzte für die Konstruktion der Höchstdruckkessel rührige Forschungs-, Versuchs- und Konstruktionstätigkeit ein. Grundlegend neu auf diesem Gebiet ist der in Schweden entstandene Atmoskessel von Blomquist mit mechanisch angetriebenen umlaufenden Wasserrohren. Ein Kessel dieser Bauart ist seit 1½ Jahren mit 50 at Dampfdruck und 400° Dampftemperatur im Betrieb und speist eine Gegendruckturbine von 450 kW bei 2 at Gegendruck. Die Inbetriebnahme eines Kessels gleicher Bauart für 110 at ist unterdessen erfolgt.

Über die Verwendung der Kolbenmaschine im praktischen Betrieb zur Ausnutzung des Hoch- und Höchstdampfdruckes ist seit den bekannten Versuchen mit der Schmidtschen Hochdruckmaschine[3]) nichts weiter bekannt geworden. Wohl aber ist ein großer Fortschritt in bezug auf Gegendruck-Dampfturbinen zu verzeichnen in der Brünner Dampfturbine[4]). Diese Bauart ermöglicht die Erreichung desselben hohen Gütegrades in der Hochdruckstufe wie bei der Dampfkolbenmaschine und eignet sich für die Verarbeitung von hohen Dampfdrücken und Temperaturen. Das Kennzeichnende dieser Turbine ist die Verarbeitung des über 1 at liegenden Wärmegefälles in mehreren Teilturbinen durch Anwendung einer größeren Zahl von Stufen, geringer Radumfangsgeschwindigkeit in einer konstruktiven Ausbildung, die die Einwirkungen der Wärme in besonderer Weise berücksichtigt und unschädlich macht. Die Gütegrade dieser Turbine wurden zu 78 vH, bezogen auf die Klemmenleistung, und zu 82 vH, bezogen auf die Leistung an der Turbinenkupplung, mehrfach gemessen. Dieser neuen Turbinenbauart kommt weitgehende Bedeutung zu, weil sie der Dampfturbine das Gebiet höchsten Druckes und hoher Temperatur mit hohem Gütegrad erschließt.

Der Übergang auf den Betrieb mit Höchstdruckdampf erfolgt zunächst voraussichtlich dadurch, daß vor den gegenwärtig bestehenden Normalturbinen eine Höchstdruckturbine als sogenannte Vorschaltturbine[5]) angeordnet wird, derart, daß die letztere mit einem Gegendruck gleich dem bisher üblichen Kesseldruck arbeitet und ihren Abdampf in die normale Turbine zur weiteren Kraftausbeute entläßt. Hierdurch läßt sich die Leistung vorhandener Dampfkraftanlagen erheblich steigern, ohne daß der Brennstoffaufwand zunimmt.

Im Zusammenhang mit der Steigerung des Betriebdampfdruckes gewinnt die Aufwärmung des Kondensates durch stufenweise entnommenen Anzapfdampf aus der zugehörigen Turbine erhöhte wirtschaftliche Bedeutung. Damit Hand in Hand geht die Ausnutzung der hierdurch für andre Zwecke verfügbaren Wärme der Kesselabgase, beispielsweise zum Vorwärmen der Verbrennungsluft. Für das Ausland ist eine Höchstdruck-Vorschaltturbine von 2000 kW Leistung im Bau, die mit den eben gekennzeichneten Einrichtungen: Hochdruckdampf von 50 at, 440° vor der Turbine, Anzapf-Speisewasservorwärmung, Ausnutzung der Abgase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft, versehen ist, und bei der ein Gesamtwirkungsgrad von 24 vH erwartet wird.

Wärme- und Dampfspeicher

Eine besondere Bedeutung haben im letzten Jahre die von Dr. Ruths in vorbildlicher Weise ausgebildeten Wärmespeicher gewonnen[6]), dadurch, daß durch den Einbau dieser Speicher in eine Dampfkraftanlage die Kesselanlage bei stark schwankender Dampfentnahme stets mit gleichbleibender Belastung betrieben werden kann, wobei das Arbeiten des Speichers völlig selbständig durch selbsttätige Regelorgane überwacht wird. Der Ruths-Speicher hat sich in einer großen Zahl von Anlagen sowohl betriebtechnisch wie wirtschaftlich bewährt; er ergibt eine Verminderung des Brennstoffverbrauches wegen der dauernd günstigen Belastung der Kessel und ermöglicht, die Dampferzeugung zu steigern oder die Kesselanlage zu verkleinern. Daneben werden auch sogenannte Speiseraumspeicher, die Speisewasser mit der Siedetemperatur des Kesselwassers aufspeichern, ausgeführt. Erfahrungen hiermit sind noch nicht bekannt geworden.

Alles in allem hat das vergangene Jahr die Dampfkraftanlagen in allen ihren Einzelheiten mächtig gefördert. Es ist anzunehmen, daß die zu erwartende weitere Ausgestaltung die Wirtschaftlichkeit der Dampfkraft wesentlich fördern wird. [M 2123] Josse.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52. [2]) Z. Bd. 67 (1923) S. 723. [3]) Z. Bd. 65 (1921) S. 713 u. f. [4]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1163. [5]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1153. [6]) Z. Bd 66 (1922) S 509 u. f.

Verbrennungskraftmaschinen.

Gasmaschinen

Die Gasmaschine hat in kleineren Ausführungen der Ölmaschine mehr und mehr weichen müssen. Nur bei Vergasung geeigneter Abfälle hat sich in Deutschland die Sauggasmaschine neue Anwendungsgebiete erobern können. Für das waldreiche Ausland hat die Holzvergasung eine aussichtsreiche Verwendung der Sauggasmaschine bis zu beträchtlichen Größen eröffnet. In neuester Zeit hat die Preislage der Leichtöle (Benzin, Benzol) vielversprechende Versuche veranlaßt, für den Kraftwagenantrieb Generatorgas aus Holzkohle zu erzeugen und die normale Kraftfahrzeugmaschine als Gasmaschine zu betreiben. Der kleine Gaserzeuger wird neben dem Führersitz des Fahrzeuges mitgeführt.

Für die Großgasmaschine, die hauptsächlich durch die Doppeltwirkung des Arbeitskolbens gekennzeichnet werden kann, ist neben dem Hochofen und dem Koksofen der Gasgenerator als Gasquelle mehrfach in Anwendung gekommen. Besondere Schwierigkeiten bereitet hierbei die Vergasung der Braunkohle und der Braunkohlenbriketts noch insofern, als die Entfernung von Teer und Paraffin aus dem Gas und die wirtschaftliche Ausnutzung dieser Nebenerzeugnisse in der hier vorliegenden Verunreinigung noch nicht befriedigend gelöst ist. Die Erfahrung in der chemischen Großindustrie, soweit sich diese zur Erzeugung großer Mengen hochgespannter Gase umfangreicher Kraftmaschinenanlagen bedient, hat der Betriebsicherheit der Großgasmaschine das beste Zeugnis ausgestellt, so daß deren weitere Verwendung geplant ist.

Abwärmeverwertung bei Großgasmaschinen

Bei allen Großgasmaschinenanlagen ist die Ausnutzung der Abwärme zur Regel geworden. Auch für die Zweitaktgasmaschinen, bei denen man ursprünglich befürchtet hatte, der Einbau des Abwärmekessels in der Auspuffleitung könnte den Spül- und Ladevorgang ungünstig beeinflussen, hat man die Abwärmeverwertung allgemein eingeführt. Im Sinne der neuzeitlichen Wärmewirtschaft kann es hierbei allerdings nicht befriedigen, wenn man sich über die Frischgasverluste älterer Zweitaktgasmaschinen damit hinwegsetzt, daß die mit diesen Gasverlusten der Gasmaschine entgehenden Wärmemengen dem Abwärmekessel zugute kommen. Große spezifische Dampfleistungen des Abwärmekessels sind demnach in erster Linie Beweis für mangelhafte Spül- und Ladevorgänge der Zweitaktgasmaschine. Die Bestrebungen, die Einfachheit und Betriebsicherheit der Zweitaktgasmaschine mit der Forderung des verlustfreien Ladevorganges zu verbinden, haben zur Entwicklung der Zweikolben-Gasmaschine geführt, die ihre Brauchbarkeit erwiesen hat und neuerdings als schnelllaufende, stehende Gasmaschine der weiteren Erprobung zugeführt wird.

Die Ölmaschine

hat von den kleinsten bis zu den größten Abmessungen eine stetig fortschreitende Vervollkommnung erfahren[7]). In kleineren Ausführungen, in denen sie als Vergasermaschine für die Kraftverkehrsmittel angewandt wird, ist der Übergang vom Leichtöl zum Schweröl bemerkenswert, der durch geeignete Vergaserheizung oder durch Vorkammereinspritzung ermöglicht wurde. Für die kleinen Fahrradmotoren ist die Ausbildung mehrerer Zweitaktbauarten bedeutungsvoll, die sich durch überraschende Einfachheit, wie durch sparsamen Brennstoffverbrauch auszeichnen. Für diese in Massen herzustellenden Kleinmaschinen gilt es, den Vorsprung des Auslandes einzuholen, weshalb man eine solche Entwicklung nicht durch kleinliche Sonderauflagen, wie durch die schärfere Besteuerung gegenüber dem Viertakt, hemmen sollte.

Dieselmaschinen

Die wesentlichste Förderung hat die Dieselmaschine zu verzeichnen, die uns heute in einer außerordentlichen Mannigfaltigkeit entgegentritt. In kleineren Abmessungen erreicht sie zwecks Verwendung für Kraftfahrzeuge Drehzahlen von 1200 Uml./min, wobei sie sich der luftlosen Einspritzung bedient. Diese erscheint als das Hauptmerkmal der Entwicklung der Dieselmaschine nach dem Kriege. Gegenwärtig ist man an mehreren Stellen damit beschäftigt, die luftlose Einspritzung für Dieselmaschinen großer Abmessungen anzuwenden. Entweder überläßt man die Einspritzung und Zerstäubung der Hilfszündung in einer Vorkammer, oder der Brennstoff wird unter einem Druck von mehreren hundert Atmosphären durch eine sehr feine Düsenöffnung unmittelbar in den Verbrennungsraum eingespritzt. Mit dem letzteren Verfahren hat man bisher den niedrigsten Brennstoffverbrauch erzielt. Die Vorkammerzündung dagegen sichert eine weitgehende Unabhängigkeit der Maschine von dem chemischen Charakter des Brennstoffes.

In richtiger Erkenntnis der beherrschenden Bedeutung, die für die Wirtschaftlichkeit einer Kraftmaschinenanlage der durchschnittlichen Benutzungsdauer zuzuschreiben ist, hat man für den Fall einer geringen Benutzungsdauer Ölmaschinen kleinerer und mittlerer Größenordnung ausgebildet, bei denen die thermische Ausnutzung zurücktritt und die sich infolge niedriger Verdichtung durch billige Anschaffungskosten und einfache Bedienung auszeichnen. Diese Ölmaschinen bilden

[7]) s. „Dieselmaschinen“, Berlin 1923, Verlag des V. d. I.

in der Stufenfolge der Verdichtungsgrade den stetigen Übergang zu den Glühkopfmaschinen, die nach dem Krieg eine hohe Betriebsicherheit erlangt haben.

Großölmaschinen Vor allem die Schiffsölmaschine drängte zu größten Abmessungen. Neben der herkömmlichen Viertaktbauart hat sich hier die Zweitaktmaschine ein aussichtsreiches Feld erobert. Ausschlaggebend für die erreichbare Zylinderleistung ist hierbei die Temperaturbeherrschung des Zylindergußstückes, des Deckels und des Kolbens. Durch planmäßige Forschungsarbeit sind auf diesem Gebiete bereits aussichtsreiche Richtlinien gewonnen worden. In der Gegenwart liegen schon eingehende Berichte über ausgedehnte Fahrtprogramme vieler Dieselmaschinenschiffe vor, die die Anwendung der Dieselmaschine für den Schiffsantrieb im günstigsten Licht erscheinen lassen. Über die Frage, ob man zur Anpassung an die günstigsten niedrigen Propellerdrehzahlen die Dieselmaschine in unmittelbarer Kupplung langsam laufen lassen und daher dementsprechend groß ausführen soll, oder ob der im Krieg erprobten schnellaufenden Dieselmaschine in Verbindung mit Untersetzungsgetrieben der Vorzug einzuräumen ist, hat sich bisher noch keine einheitliche Meinung ausgebildet. Bleibt man bei der unmittelbar gekuppelten, also verhältnismäßig langsam laufenden Ölmaschine stehen, so ist die Doppelwirkung der Zylinder sicherlich eine Aufgabe der nächsten Entwicklung.

Triebwerke In bezug auf die Anordnung des Triebwerks der Maschine sind neben den auf englischem Boden erfolgten Abwandlungen der Gegenkolbenmaschine in Deutschland die Kreuzkopfschwingen-Maschine und die Kurvenbahnmaschine zu nennen. Bei ersterer werden die gelenkig am Kolben befestigten Kolbenstangen zweier benachbarter Viertaktzylinder an eine gemeinsame Schwinge angeschlossen, die mit einer Schubstange auf die Kurbel wirkt. Die Arbeitsvorgänge der beiden Zylinder sind um eine Umdrehung gegeneinander versetzt. Eine Sechszylindermaschine hat demnach nur eine dreifach gekröpfte Kurbelwelle. Bei der Kurvenbahnmaschine ist innerhalb einer drehbar gelagerten Schwungradtrommel ein feststehender Gegenkolbenzylinder oder ein dreifach sternförmiger Zylinder angebracht, dessen Kolben mittels Rollen die Kolbenkraft auf Kurvenbahnen in der Trommel übertragen. Besteht die Kurvenbahn aus sechs über den Umfang verteilten kongruenten Einzelkurven, wovon jede einem Vor- und einem Rückgang des Kolbens entspricht, so ist die Drehzahl der Trommel gegenüber der Spielzahl des Kolbensystems sechsfach herabgesetzt, was der Kurvenbahnmaschine für zahlreiche Anwendungsgebiete zum Vorteil gereichen kann.

Brennstoffe Neben der Frage der Temperaturbeherrschung großer Zylindereinheiten ist für die weitere Entwicklung der Dieselmaschine in erster Linie die Erforschung der Verbrennungsvorgänge von Bedeutung. Dort zielen die Forschungen auf steigende Sicherheit in der Anwendung der konstruktiven Mittel, hier auf die Anpaßfähigkeit der Maschine an die verschiedensten Brennstoffe, die für den Dieselmaschinenbetrieb in Betracht gezogen werden können. An einer Stelle haben auch Versuche Erfolg gehabt, die Dieselmaschine mit Braunkohlenstaub zu betreiben.

Die verschiedenen Ansätze zur Verbrennungsturbine in Gestalt der Gas- oder Ölturbine haben bisher noch kein abschließendes Urteil gewinnen lassen. [M 2109] Nägel.

Wasserkraft-Maschinen und -Anlagen.

Die großen deutschen Anlagen Die Fertigstellung der Großkraftanlagen im Süden Deutschlands hat im verflossenen Jahr gute Fortschritte gemacht. Im Walchenseewerk sind die von J. M. Voith, Heidenheim a. Br., gelieferten 24 000 PS-Doppelspiralturbinen aufgestellt, und die vier Freistrahlturbinen von je 18 000 PS für den Bahnbetrieb in der Aufstellung begriffen. Die Inbetriebnahme der ganzen Anlage ist noch in diesem Jahr zu erwarten.

Von den Anlagen der Mittleren Isar, deren Turbinen von Fritz Neumeyer A.-G., München, gebaut werden, dürften die beiden Maschinensätze des Kraftwerkes Finsing im Mai in Betrieb kommen. Sie bestehen aus je 4 Spiralturbinen mit gemeinsamer wagerecht liegender Welle und haben je 10 800 PS Höchstleistung bei 11,5 m Gefälle. Die großen Spiralturbinen von je 12 700 PS der Anlage Aufkirchen werden zurzeit aufgestellt und, wie auch die gleich großen Turbinen der Anlage Eitting, noch im Laufe dieses Jahres fertig werden. Die riesigen Gewichte dieser stehenden Turbinen werden zusammen mit dem Axialschub durch Segmentdrucklager aufgenommen, zu deren Erprobung die Erbauerin der Turbinen einen eigenen Versuchstand errichtet hat, der gestattet, die Lager, welche verschiedene neuartige Konstruktionseinzelheiten aufweisen, in natürlicher Größe und mit der Betriebsbelastung zu prüfen.

Von den 15 durch F. Schichau, Elbing, ausgeführten 10 000 PS-Einrad-Stirnkesselturbinen mit Stahlgußgehäusen des Innwerkes ist die Hälfte angeliefert. Da die Wasserbauten sowie die Rohrleitungen von 4 m l. W. und die übrige maschinelle Ausrüstung nahezu fertig sind, ist auch hier mit einer baldigen Inbetriebsetzung zu rechnen.

In Baden erweckt das im Bau begriffene Schwarzenbachwerk das größte Interesse. Die Betonierungsarbeiten der Sperrmauer sind in vollem Gange, und es ist zu hoffen, daß bis Mitte d. Js. eine solche Höhe der Mauer erreicht wird, daß sich eine Inbetriebsetzung der Anlage bewerkstelligen läßt. Der Stollen und die Rohrleitung dürften bis dahin ebenfalls fertig sein. Die 28 000 PS-Drillings-Freistrahlturbine von J. M. Voith ist schon geliefert und wird demnächst aufgestellt. Die gleiche Turbine von Escher, Wyß & Cie., Ravensburg, soll in den ersten Monaten dieses Jahres verschickt werden und daran anschließend auch die große Speicherpumpe. Das Stirnradgetriebe zum Antrieb dieser Pumpe, die aus zwei parallel geschalteten Einheiten besteht, und die große Magnetkupplung sind bereits angeliefert. Eine Beschreibung dieser hochinteressanten Anlage hat Baurat Treiber veröffentlicht[1]) und dort auch die neuen EWC-Kugelschieber beschrieben, die in verschiedenen Ausführungen, und zwar bis 1900 und 2300 mm l. W., für das Schwarzenbachwerk verwendet werden und auch sonst schon infolge ihrer wohldurchdachten Bauart eine weite Verbreitung gefunden haben.

In den am Neckar im Bau befindlichen Kraftwerken kommen stehende Einradturbinen mit Stirnradübersetzung zur Aufstellung; drei Turbinen von je 3170 PS und einer Übersetzung von 93,7 auf 750 Uml./min sind bei J. M. Voith in Arbeit, während drei ähnliche Einheiten für eine zweite Anlage bei Escher, Wyß & Cie. bestellt sind. Erwähnenswert ist, daß bei einem solchen von Krupp angefertigten Stirnradgetriebe für Wasserturbinen ein Wirkungsgrad von 99 vH festgestellt wurde bei 1300 PS und einer Übersetzung von 70 auf 750 Uml./min. Leider mußten die Arbeiten an den weiteren Anlagen am Neckar wegen der inzwischen so außerordentlich gestiegenen Kosten und der Schwierigkeit der Geldbeschaffung eingestellt werden.

Für den Wasserkraftausbau Österreichs sind die bei Voith im Bau begriffenen beiden einfachen Spiralturbinen für die Anlage Teigitsch in Steiermark bemerkenswert durch das für Francisturbinen recht große Gefälle von 244 m bei 15 250 PS Leistung jeder Turbine.

Die stärksten Freistrahlturbinen Daß der deutsche Turbinenbau auch wieder große Wasserturbineneinheiten ins Ausland liefert, zeigen die von Voith im verflossenen Jahre für eine Anlage auf der japanischen Insel Formosa abgesandten fünf großen Freistrahl-Doppelturbinen mit Doppelregelung für 309 bis 329 m Gefälle, 300 Uml./min und je 33 000 PS Leistung. Es sind dies zurzeit wohl die stärksten Freistrahlturbinen der Welt. Auch nach Japan liefert Voith zwei große Francis-Spiralturbinen mit stehender Welle von 12 500 PS bei nur 21,3 m Gefälle. Die Blechgehäuse haben 4 m l. W. im Einlauf.

Kaplan- und Lawaczek-Turbinen Von den Schnelläufern steht immer noch die Kaplanturbine im Vordergrund des Interesses. Die ersten wirklich einwandfreien und ausgedehnten Versuche an einer größeren Kaplanturbine mit stehender Welle sind in der Versuchsanstalt von Voith durchgeführt worden und im Auftrage des Kaplanturbinen-Konzerns im letzten Jahrgang dieser Zeitschrift veröffentlicht[2]). Voith hat nun auch, wohl als einzige der Konzernfirmen, eine Anlage, und zwar in Siebenbrunn in Österreich, mit zwei Kaplanturbinen mit stehender Welle und drehbaren Laufradschaufeln ausgerüstet, deren jede bei 5,4 m Gefälle 925 PS bei 250 Uml./min leistet. Die spezifische Drehzahl beträgt $n_s = 930$. Die Turbinen sind seit einem halben Jahr in durchaus zufriedenstellendem Betrieb. Zwei weitere Kaplanturbinen, und zwar mit liegender Welle mit je 106 PS bei 4,8 m Gefäll, werden demnächst in Sachsen aufgestellt.

Für die große Wasserkraftanlage Lilla-Edet, die zurzeit vom Schwedischen Staat errichtet wird, baut die Firma Verkstaden Kristinehamn eine Kaplanturbine von 10 000 PS Leistung bei nur 6,5 m Gefäll und 62,5 Uml./min. Das riesige Laufrad von 5,8 m Dmr. hat drehbare Schaufeln, die von einem Regler mit zwei Servomotoren zusammen mit den Leitschaufeln verstellt werden. In derselben Anlage werden außerdem zwei von A.-B. Fynshyttan (Schweden) ausgeführte Lawaczekturbinen gleicher Leistung und Drehzahl aufgestellt. Sie haben feste Laufradschaufeln und 6 m Dmr. Die Konstruktion dieser Turbinen wurde an der Hand von Versuchen mit kleinen 200 mm im Durchmesser messenden Modellrädchen durchgebildet und dann auch an größeren Rädern von 950 mm Dmr. in der besonders für diesen Fall vom Schwedischen Staat gebauten Versuchsanlage ausprobiert. Aber nicht nur die Form der Laufräder, sondern auch die Frage des Einbaues, und zwar sowohl hinsichtlich der Abmessungen der Betonspirale als auch der günstigsten Saugrohrform, wurde in vorbildlicher Weise durch Modellversuche geklärt. Eine von der Schwedischen Wasserbaudirektion herausgegebene Broschüre gibt über diese Versuche Aufschluß.

Neue Schnelläufer Eine für Schnelläufer bemerkenswerte Konstruktion für hohe spezifische Drehzahlen hat die Firma Fritz Neumeyer A.-G. unter dem Namen Diagonal-Propellerturbine neu herausgebracht. Das Laufrad hat propellerartige feststehende Schaufeln ohne Außenkranz und ist zerlegbar. Die Schaufeln werden einzeln je mit einem Kranzsegment zusammengegossen und an der Laufradnabe befestigt. Die Zerlegbarkeit hat den Vorteil, daß man in der Größe der Maschineneinheit nicht durch Rücksichten auf die Transportmöglichkeit gehindert ist.

Im Kraftwerk Viereth, der ersten Stufe des Rhein-Main-Donau-Kanals, werden zurzeit drei solche Diagonal-Propellerturbinen mit senkrechter Welle, je 2000 PS Leistung bei $H = 5{,}3$ m und unmittelbar gekuppeltem Stromerzeuger aufgestellt.

Zwei ähnliche, kranzlose Flügelradturbinen mit festen Flügeln sind bei den Firmen Voith und Escher, Wyß & Cie. für das Kachletwerk a. d. Donau im vorigen Monat bestellt worden. Bei 5 bis 9,2 m Gefälle leistet jede dieser Turbinen normal 7400 PS bei 75 Uml./min.

Ein wichtiger Teil der Versuchsarbeiten der Wasserturbinenfirmen geht immer weiter in der Richtung der Entwicklung der Schnelläufer, der Untersuchung der Bedingungen, unter denen sie im Einzelfall Verwendung finden können und der Festlegung der günstigsten Einbauformen. [M 2077] Oesterlen.

[1]) Schweiz. Bauzeitung 1923 Bd. 82 Nr. 3 und 4.
[2]) Z. Bd. 67 (1923) S. 444.

Werkzeugmaschinen und Werkzeuge.

Hochleistungs-Werkzeuge Die Verwendung der sogenannten selbsthärtenden Stähle leitete am Ausgange des vorigen Jahrhunderts die Herstellung und Benutzung der hochlegierten Wolframstähle ein und damit bei den spanabhebenden Werkzeugmaschinen die Konstruktion des „positiven Antriebes" für erhöhte Kraftübertragung. Ob die vorläufig noch tastenden Versuche mit Werkzeugen aus Stellit und ähnlichem Material ebenfalls dazu führen werden, eine Wandlung im Antrieb und der Übertragung einzuleiten, ist noch zweifelhaft. Jedenfalls müßten aber infolge bedeutend erhöhter Geschwindigkeiten Änderungen in der Konstruktion vorgenommen werden. Hierbei werden die Folgerungen aus den Hipplerschen Untersuchungen, die nach meiner Überzeugung noch starker Klärung bedürfen, besonderen Einfluß ausüben. Da die Benutzung der Wolframstähle durchaus vorherrschend ist, so scheint hinsichtlich des positiven Antriebes ein gewisser Abschluß erfolgt zu sein.

Zahnrad-fabrikation Die durch die Automobilindustrie geforderten Verbesserungen der Zahnradfabrikation haben sich auch auf die Werkzeugmaschinen übertragen. Die vielen Räder der positiven Antriebe erfordern wegen des ruhigen Laufes und der Kraftübertragung tadellos wälzende Zahnräder. Daher die vielen Neukonstruktionen von zahnbearbeitenden Maschinen, wobei bisher hauptsächlich auf die Bedürfnisse der Autoindustrie Rücksicht genommen wurde. Das erklärt auch die Tatsache, daß auf die Konstruktion von Zahnradautomaten für Kegelräder mit Schraubenzähnen mehr Arbeit verwandt wurde als auf solche für Stirnräder mit Schaubenzähnen.

Die elektrischen Antriebe erfreuen sich, nachdem die Schwierigkeiten der Beschaffung guter Lagermetalle überwunden sind, wieder voller Aufmerksamkeit. Dabei ist eine lange vorhandene Absicht in die Wirklichkeit umgesetzt: der Einbau des Motors in den Spindelkasten, indem man die Arbeitspindel durch den Motor hindurchführt. Das bedeutet zwar einen Schritt weiter, Motor und Maschine organisch zu verbinden, hat aber neben unleugbaren Vorteilen auch Nachteile. Die Anwendung des Stufenmotors bei Maschinen mit umlaufender wie auch mit hin- und hergehender Bewegung ist durch die Vorzüge des Gleichstromes gegenüber den andern Stromarten zwar beliebt, aber stark eingeschränkt. Der Vorteil, mittels Stufenmotors eine große Anzahl von Antrieb- und Vorschubgeschwindigkeiten erzielen zu können, sichert ihm einen Vorteil, der selbst durch die verwickeltesten Einscheibenantriebe nicht erreicht werden kann. Für die Reihenfertigung der Werkzeugmaschinen stark hinderlich ist die schwer überwindliche Verschiedenheit sowohl der Abmessungen als auch der Konstruktion der elektrischen Ausrüstung. So ist der Drehbankbauer z. B. genötigt, folgende Ausführungen derselben Maschine zu bauen: Stufenscheibenmaschine, Einscheibenmaschine für Transmissionsantrieb, Einscheibenmaschine mit gleichbleibender oder solche mit veränderlicher Umlaufzahl und schließlich die Maschine mit Motor um die Arbeitspindel. Noch unangenehmer liegen die Verhältnisse bei Fräsmaschinen, bei denen der Spindelkasten nicht abnehmbar ist und ausgetauscht werden kann, wie bei Drehbänken und Revolverdrehbänken.

Normung Die mehr und mehr an Boden gewinnende Normung hat auch auf die Konstruktion und Ausführung der Werkzeugmaschinen Einfluß gehabt, und zwar hinsichtlich der Verwendung, wie auch auf die Herstellung der Normalteile. So ist zu bemerken, daß die „Sinnfälligkeit der Bewegungen" größere Anwendung findet. Ob die in den letzten Jahren festzustellende größere Genauigkeit deutscher Werkzeugmaschinen zurückzuführen ist auf die Wirkung der Herstellung von Kriegsmunition, oder auf verfeinerte Bearbeitung durch Anwendung der Passungen und Grenzlehren, oder das Bestreben, dem amerikanischen Wettbewerb Einhalt zu gebieten, oder auf die fortschreitende Spezialisierung, sei nicht untersucht. Es kann aber festgestellt werden, daß der deutsche Werkzeugmaschinenbau, nachdem der durch das Fehlen bester Facharbeiter verursachte Mangel überwunden ist, recht erfreuliche Fortschritte gemacht hat. Allerdings ist noch darüber zu klagen, daß die Baustoffe, sowohl Gußeisen wie Stahl, in bezug auf Reinheit wie Bearbeitungsfähigkeit noch nicht die Güte der Vorkriegszeit erreicht haben.

Einen wesentlichen Fortschritt wird die Normung der Spindelköpfe von Drehbänken, Fräsmaschinen und Revolverdrehbänken sowie die der Spannpatronen bringen. Jeder Betriebsingenieur wird es als Erleichterung empfinden, wenn Fräsköpfe, Futter, Spann- und Schneidwerkzeuge auf allen Maschinen von ungefähr gleicher Größe, aber verschiedener Herkunft benutzt werden können. Noch mehr trifft dies bei den Revolverkopfbohrungen von Revolverdrehbänken und Automaten zu.

Betriebsichere Maschinen Die Verwendung angelernter oder ungelernter Arbeiter hat die Forderung betriebsicherer Maschinen entstehen lassen, die Konstruktionen verlangen, die es dem Arbeiter unmöglich machen, die Maschine durch falsche Handgriffe in Bruchgefahr zu bringen. Die Anbringung von Tafeln für Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten, von Meßeinrichtungen und Ähnlichem erleichtern die Erhöhung von Menge und Güte der Arbeit.

Ungelöst ist bisher die Frage, ob es zweckmäßiger ist, die Maschine universell oder nur für die ihr besonders zuzuweisenden Arbeiten einfach auszurüsten. Die Entscheidung kann nur durch die Verbraucher gelöst werden, und da sie stark beeinflußt wir durch die Menge der gleichen Teile, d. h. dadurch, ob der Betrieb mehr nach der Massen- oder der Einzelfabrikation hinneigt, so ist anzunehmen, daß sie auch für die Zukunft offenbleiben wird. [M 2072] E. Huhn.

Landwirtschafts-Maschinen.

Kraft- und Schlepppflüge Da die Wirtschaftslage noch immer den Ersatz menschlicher und tierischer Kräfte durch Kraftmaschinen besonders wichtig erscheinen läßt, stand der Kraftpflug wegen des starken Arbeitsbedarfs der Bodenbearbeitung auch in diesem Jahr im Vordergrund des Interesses. Wenn keine grundsätzlich neue Bauart erschienen ist, so beweist das, daß der Motorpflug in den jetzigen Formen einen vorläufigen, wenn auch gewiß nicht den endgültigen Abschluß erreicht hat.

Da die Schaffung einer kleinen, durch Massenfabrikation auf Grund systematischer Vereinfachung des Gesamtbaues und der Einzelheiten billigen Zugmaschine nach Art des Fordschleppers wegen der zu geringen Absatzmöglichkeit in Deutschland keine Aussicht auf Erfolg hat, sucht man den Betrieb wenigstens durch Verwendung von Gasöl, Petroleum und womöglich Teeröl an Stelle des teuern Benzols zu verbilligen. Die Pflüge von Stock, Pöhl und Benz-Sendling arbeiten mit Petroleum und Gasöl befriedigend, wenn auch ein Rückgang in der Motorleistung um etwa 20 vH bisher nicht zu vermeiden war. Der Rohölmotor Bulldog von Heinrich Lanz ist mit Vierradantrieb auch als Pflugschlepper brauchbar und kann mit Teeröl betrieben werden.

Als Kleinschlepper von großer Beweglichkeit und Zugkraft scheint sich der Gleiskettenschlepper von Ritscher zu erweisen, dessen Motor etwa 20 PS leistet. Verbilligt wird der Betrieb der Schlepppflüge durch die Verbesserung der Anhängepflüge von Sack, Gebr. Eberhardt, Gerd Even, die vom Führersitz des Schleppers durch Hebel oder Zugseile eingesetzt und ausgehoben werden. Zum Ausheben wird eine Zahnstange oder ein Zahnbogen so umgelegt, daß sich ein an der Radachse sitzendes Zahnrad daran abwälzen kann und die Räder niederschwenkt. Anderseits hat der Tragpflug, dessen geringe Elastizität ihn in steinigen Böden unbrauchbar machte, durch die Druckluftbelastung der Pflugkörper bei dem Stumpfpflug und durch die Pendelkörper bei dem Stockpflug ein größeres Anwendungsgebiet erhalten. Die Schwierigkeiten der Bearbeitung steinigen Bodens traten überraschend stark bei den Versuchen mit Untergrundpflügen im Herbst hervor; anfangs genügte kein Gerät den Anforderungen an die Festigkeit, und erst die gemeinsame Arbeit des Landwirts und des Ingenieurs bei den Versuchen brachte Besserung.

Säemaschinen Im Bau der Drillmaschinen führten die Versuche zur Verbesserung der Säeräder zu den ersten Erfolgen. Prof. Kühne hat eine Einzelkorn-Säemaschine entworfen, deren Ergebnisse gut sind[1]), andre Erfinder haben gleichfalls schon Erfolge erzielt. Die dadurch erreichbare Samenersparnis unter gleichzeitiger Steigerung der Erträge fällt für die Volksernährung sehr ins Gewicht, allerdings ist eine sehr gute Vorbereitung des Ackers die unerläßliche Vorbedingung für den Erfolg, und ebenso muß das Saatgut mit besonderer Sorgfalt gereinigt und sortiert sein.

Samenreiniger Dem Bedürfnis nach guten, nicht zu umfangreichen Saatgut-Reinigungsanlagen wird durch die neuen Bauarten von Gebr. Röber, Neuhaus-Eberswalde, und Wilh. Jaeger, Halle, entsprochen, die in verschiedener Art die Windreiniger mit den Trieuren und Sieben zusammenstellen und das Getreide von einem zum andern Teilapparat durch Becherwerke befördern. Kleinere Anlagen für Leistungen bis 500 kg/h werden auch fahrbar gemacht, um innerhalb eines Speicherbodens verstellt zu werden. Man gewinnt etwa zwei Drittel der ungereinigten Menge als beste Sorte mit einem Gehalt von etwa 99 vH guten Kornes.

Neuerdings haben sich die Hersteller der Reinigungsmaschinen auch mit einigem Erfolg dem Bau von Grassamenreinigern zugewandt, einer Aufgabe, die wegen der Kleinheit der Samen und der sehr starken Vermischung mit fremden Samen sehr viel schwieriger ist als die Reinigung von Getreide. Da aber auf kultivierten Moorflächen mit großem Erfolg Grassamen gezogen werden, die früher nur aus dem Ausland kamen, besteht ein lebhafter Bedarf an guten Reinigungsmaschinen. Hier liegen für die Technik neue Aufgaben vor, und ebenso sind die Versuche zum Bau einer Mähmaschine für Grassamen, die durch das Abschneiden der Ähren oder Samenstände in möglichst großer Höhe über dem Erdboden die sonst erheblichen Samenverluste vermindert, noch nicht abgeschlossen.

Kartoffelernter Auch das alte Problem der Kartoffelerntemaschine ist noch nicht gelöst, obwohl die Maschine Hallensis Bredus B von Brede & Söhne die Kartoffeln schon in einer schmalen Reihe leidlich freilegt. Sie erreicht das durch eine mäßig rasche Drehbewegung eines Kreisrostes hinter dem Schar und die rasche Drehung von Schleuderfingern über dem Rost.

Die Steigerung der Maschinenpreise scheint die Erkenntnis von der Notwendigkeit sorgsamer Pflege der Maschinen zu fördern, denn im verflossenen Jahre sind mehr und mehr Gutswerkstätten eingerichtet und Betriebstechniker zur Überwachung der Maschinen eingestellt worden. Damit eröffnet sich die Möglichkeit zur weiteren Einstellung arbeitsparender Maschinen in die Landwirtschaft.

[M 2080] Dr. Gustav Fischer.

Elektrische Maschinen und Geräte.

Maschinen und Transformatoren Die zur Ausnutzung der Wasserkräfte erforderlichen Groß-Stromerzeuger gaben Veranlassung zur Weiterentwicklung der Erregereinrichtungen, Anordnung von Hilfserregermaschinen und besonderen Zu- und Gegenschalt-Erregermaschinen. Die Entwicklung der Turbogeneratoren weist eine weitere Steigerung der Höchstleistung auf. Maschinen mit 3000 Uml./min und

[1]) Ein Aufsatz hierüber ist in Aussicht gestellt.

einer Leistung von 22 500 kVA wurden in Betrieb genommen und Maschinen noch höherer Leistung entworfen. Das System des Kreislaufes der Kühlluft hat auch in Deutschland Eingang gefunden. Auf dem Gebiet des Gleichrichterbaues sind die Leistungen der Quecksilberdampf-Gleichrichter mit Eisengefäß auf 1500 A gesteigert worden. Durch Ausgestaltung der Zubehörteile und Einzelteile wurde die Betriebsicherheit erhöht. Die Einführung selbsttätiger Groß-Gleichrichterstationen steht bevor. Die Glasgleichrichter sind bis zu 500 A mit Ölkühlung ausgebildet. Für geringere Stromstärken werden Kleingleichrichter (Glühkathoden-Gleichrichter) verwandt.

Die Kurzschlußsicherheit der Einanker-Umformer in Verbindung mit Schnellautomaten ist erhöht, und selbsttätige Unterstationen für Bahnzwecke sind entwickelt worden. Die Motoren kleiner Leistungen, die ihrer Natur nach hauptsächlich zum Zusammenbau mit Gebrauchsmaschinen bestimmt sind, werden für alle Stromarten nach den Hauptabmessungen genormt. Bei den Drehstrommotoren ist hervorzuheben, daß zur Bekämpfung des Blindstromes Konstruktionen mit voreilendem Leistungsfaktor und dem Leistungsfaktor 1 geschaffen worden sind[1]); ferner ist die Entwicklung der Kurzschlußanker-Motoren mit hohem Anzugmoment und der Drehstrommotoren mit Achsanlasser bemerkenswert[2]).

Zunehmende Verwendung der Druckluft bei Hammer- und Preßwerken steigerte den Bedarf an elektrisch betriebenen Kompressoren unter Benutzung selbsttätiger Leeranlaßvorrichtungen, die die Bemessung der Preßluftspeicher auf das Mindestmaß beschränken. Elektrische Antriebe von Walzenstraßen werden neuerdings ohne eigenes Schwungrad über Schwungradumformer durch Gleichstrommotoren betrieben, wodurch störende Belastungsspitzen vom Kraftwerk fern gehalten und walztechnisch Vorteile erreicht werden. Elektrische Umkehrstraßen gelangen zur weiteren Anwendung, wobei Motorsätze von 25 000 PS nichts Ungewöhnliches sind.

Die Entwicklung der elektrischen Hauptbahnlokomotive beeinflußte wesentlich die Bauform der Motoren. Mit Rücksicht auf die Betriebsicherheit ist insbesondere hochwertige Isolierung der Wicklungen, Zugänglichkeit der wichtigen Teile und Lüftung (besondere Lüfter oder Eisenlüfter) erforderlich. Die elektrische Bremsarbeit wird zur Energierückgewinnung verwertet. In steigendem Umfang finden Rollenlager Verwendung, die durch die ermöglichte Verengung des Luftspaltes bei gleichen Abmessungen eine wesentliche Erhöhung der Zugkraft gestatten. Die Einführung der Elektrokarren mit ihrer außerordentlichen Anpaßfähigkeit an die verschiedenen Verkehrsverhältnisse hat erhebliche Fortschritte gemacht. Bemerkenswerte Typen sind Elektrokarren mit fester und hebbarer Plattfom, mit schwenkbarem Kran und der Elektroschlepper[3]).

Der Transformatorenbau wird planmäßig weiterentwickelt. Zur Vermeidung der besonders bei Großtransformatoren sehr gefährlichen Eisenschlüsse wird das wirksame Eisen in Richtung des Kraftflusses parallel und senkrecht zur Ebene der Bleche weitgehend unterteilt. Bei großen Drehstrom-Transformatoren werden zwei in der Ebene der Hauptschenkel liegende Hilfsschenkel benutzt, die die Joche entlasten und deren Höhe wesentlich zu vermindern gestatten, wobei sich Transformatoren von mehr als 30 000 kVA bei 110 kV betriebfertig (jedoch ohne Isolatoren) mit der Bahn befördern lassen.

Schalter und Isolatoren Wurden bisher wegen der Brandgefahr die Ölschalter in feuersicheren Kammern untergebracht, so ist man infolge der Einführung von Hochleistungs-Ölschaltern teilweise dazu übergegangen, die Ölschalter frei im Gebäude aufzustellen. Schalter von 50 000 V aufwärts werden im Freien aufgestellt (Freiluftstation). Die für geschlossene Räume bestimmten Ölschalter, die man in steigendem Maße mit Geax isoliert, werden nach Einsetzen anderer Isolatoren für Freiaufstellung verwendbar gemacht, wobei als Isolierung Sillimanit benutzt wird. Als Isolierstoff hat außerdem Hartpapier weitere Anwendung gefunden.

Die Einführung der elektrischen Steuerung hat sich im letzten Jahr wesentlich erweitert. Neben der elektrischen Rudersteuerung auf Seeschiffen mit Dieselmotorantrieb finden wir die elektrische Steuerung durch mit Druckluft betätigte Schaltschützen bei elektrischen Fahrzeugen, die Arbeitsregler für Werkzeugmaschinen-Antriebe[4]) und die halbautomatische Steuerung für Fördermaschinenantriebe.

Auf dem Gebiet der Isolatoren führt sich neuerdings die Weitschirm-Bauart in Deutschland ein. Infolge der nach drei bis vier Jahren auftretenden Treibrisse und mit Rücksicht auf die leichte Auswechselbarkeit der Armaturen macht sich das Bestreben geltend, den Zementkitt in der Isolatorenkonstruktion zu vermeiden (Bolzen, Verschraubung oder auch Bleibefestigung). Um die Baulängen der Kettenisolatoren mit Rücksicht auf die Mastenkonstruktion zu verringern, hat man Isolatoren geschaffen, bei denen der Zug auf eine getränkte Holzplatte oder einen Papierstab übertragen wird, die außerdem den Vorteil der Sicherheit gegen Durchschlag haben. Neuerdings ist ein Verfahren ausgearbeitet worden, den Kitt gegen Wasseraufnahme zu sichern. Außer der Wechselstromprüfung werden die Isolatoren vielfach auch Stoßprüfungen sowie Hochfrequenzprüfungen unterworfen.

Schutz- und Schaltanlagen, Meßgeräte Die Entwicklung der Relais für selektiven Schutz von Leitungsnetzen hat weitere Fortschritte gemacht. Der Differentialschutz mit selbsttätiger Feldschwächung und andre Anordnungen finden wachsende Verbreitung. Eine Einrichtung zur schnellen Löschung von Wicklungsbränden mittels Frischdampfes wurde geschaffen und in die Praxis eingeführt.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 495. [2]) Z. Bd. 67 (1923) S. 375.
[3]) Z. Bd. 67 (1923) S. 16. [4]) Z. Bd. 68 (1924) S. 6.

Schalter mit Motorantrieb sowie solche für selbsttätige Wiedereinschaltung finden zunehmende Verbreitung. Neue Motorschutzschalter, die bei Spannungsänderung und Überströmen, aber nicht bei Kurzstoßströmen und Spannungsschwankungen ansprechen, gewinnen erhöhte Bedeutung.

Bei dem Bestreben, die Wirtschaftlichkeit der Betriebe nach Möglichkeit zu steigern, hat die Messung und Aufzeichnung elektrischer Größen eine immer höhere Bedeutung gewonnen; eine Reihe neuer Apparate, insbesondere für Isolationsmessungen, ist ausgebildet worden. Zur Erzeugung hoher Gleichspannungen für die Prüfung der Durchschlagfestigkeit von Isolierstoffen finden Hochvakuum-Ventile mit Glühkathoden Verwendung.

Elektrische Wärme-Erzeugung Die Maschinen für elektrische Widerstandsschweißung weisen Leistungen bis zu 200 kVA entsprechend einem Eisenquerschnitt von 100 cm² auf. Bei der elektrischen Lichtbogenschweißung, die bisher nur mit Gleichstrom betrieben werden konnte, ist es gelungen, unter Verwendung von Sondertransformatoren Dreh- bzw. Wechselstrom von 200 und 400 A im Schweißstück zu verwenden. Insbesondere haben sich die elektrischen Nietenwärmer durchgesetzt. Des weiteren ist es gelungen, einen Transformator-Muffelofen mit dauerhaften Heizelementen für Temperaturen bis 1000 ° durchzubilden. Als Neuerung auf dem Gebiete der Härtung ist der elektrische Salzbadofen für Oberflächenheizung mittels unmittelbar kohlenden Salzbades bemerkenswert.

Wesentliche Fortschritte sind im Bau von Nieder-, Mittel- und Hochspannungselektroden-Dampfkesseln zu verzeichnen. Patronen-Heizkörper für die Beheizung von Dampfkesseln zum Anschluß an alle Stromarten wurden entwickelt. Die Vorteile des Speicherprinzips wurden durch Weiterentwicklung von Nieder-, Mittel- und Hochdruck-Heißwasserspeichern bis zu 1500 l und durch geeignete Konstruktionen von Speicherkochherden und Speicherherden berücksichtigt.

[M 2105] Klingenberg.

Elektrizitätswerke und Kraftübertragung.

Hebung der Wirtschaftlichkeit Das abgelaufene Jahr stand für die Elektrizitätswerke unter dem Zeichen der wirtschaftlichen Nöte, die in erster Linie durch den Währungssturz verursacht wurden, und ihre ganze Kraft mußte in der Richtung eingestellt werden, daß der drohende finanzielle Zusammenbruch vermieden wurde. Aus dieser Bindung und Beanspruchung heraus erklärt sich die Erscheinung, daß nach der stürmischen technischen Entwicklung der letzten Jahre diese Entwicklung im Berichtjahr sich weniger stark ausprägte, und daß man sich mit besonderem Nachdruck der Verbesserung der Wärmewirtschaft und der Verringerung der elektrischen Verluste zuwendete.

Kennzeichnend hierfür ist das Bestreben, den Kesseldruck weit über das bisher gebräuchliche Maß hinaufzusetzen und die Feuerungen zu vereinfachen, ferner Versuche mit Kohlenstaub-, Öl- und Halbgas-Feuerungen und schließlich die Aufstellung von Wärmespeichern, deren Eignung für die Kraftwerkbetriebe allerdings noch erprobt werden muß. Daneben wurden in verschiedenen Kraftwerken gute Erfahrungen mit der Verkupplung von Kraft- und Wärmewirtschaft durch Zusammenschluß mit solchen industriellen Betrieben erzielt, die große Mengen von Heizdampf verbrauchen.

Der im Jahre vorher eingeleitete Kampf gegen die Blindströme wurde in vielen Werken mit gutem Erfolg weitergeführt, wobei die zahlreichen neuen Bauarten von selbstanlaufenden Synchronmotoren und kompensierten Asynchronmotoren im Verein mit Blindstromtarifen wertvolle Dienste leisteten.

Isolatoren Die für die Betriebsicherheit der elektrischen Großübertragung so bedeutungsvolle Isolatorenfrage ist immer noch nicht zur Ruhe gekommen. Zwar gibt das neue Verfahren der Stoßprüfung die Gewähr, daß Isolatoren, die irgendwelche die elektrische Festigkeit beeinträchtigende Fehler aufweisen, mit größter Sicherheit bei der Prüfung ausgeschieden werden. Indessen muß erst die Erfahrung zeigen, ob die verbesserten Isolatorenformen die Erwartungen, die man hinsichtlich der mechanischen Festigkeit auf sie setzt, auch rechtfertigen.

Von neuen Isolatorenformen ist der Weitschirm- und Kugelkopfisolator der Porzellanfabrik Hermsdorf-Schomburg, der Kegelkopfisolator von Rosenthal und der V-Isolator der Siemens-Schuckert-Werke zu erwähnen. Auch in Mittelspannungsanlagen bürgert sich der Hängeisolator besonders für solche Stützpunkte mehr und mehr ein, an denen, wie z. B. an Kreuzungsstellen, eine besonders hohe elektrische Festigkeit gefordert werden muß.

Der Erhöhung der Betriebsicherheit großer Verteilanlagen dienen die Selektiv-Schutzsysteme, an deren Vervollkommnung und Vereinfachung weitergearbeitet und deren Zuverlässigkeit in verschiedenen Betrieben erprobt wurde.

Zusammenfassung der Anlagen Die fortschreitende Zusammenfassung der Elektrizitätserzeugung und -verteilung stellte die Elektrizitätswirtschaft vor neuartige Aufgaben, von denen eine der wichtigsten die wirtschaftliche Verteilung der Blindströme ist, die heute als gelöst betrachtet werden darf. Der Anschluß zahlreicher bisher selbständiger Gleichstromanlagen an die Großverteilnetze rückte den Quecksilberdampf-Gleichrichter in den Vorder-

grund des Interesses, der in der Form des Glasgleichrichters für Stromstärken von etwa 250 A sich mehr und mehr einbürgert. Die Erbauung von vollkommen bedienungslosen Umformerwerken und von Freiluft-Schaltstationen im Auslande kennzeichnet das Bestreben, die Bedienungs- und Baukosten nach Möglichkeit herabzusetzen.

Staatliche Anlagen Über die Entwicklung der staatlichen Elektrizitätsunternehmungen ist folgendes zu berichten: Für die sächsische Elektrizitätsversorgung ist in der Nähe von Hirschfelde ein neues Großkraftwerk erbaut worden, das im ersten Ausbau 3 × 25 000 kVA leistet. Die Kraftwerke Lauta und Trattendorf sind jetzt über Berlin mit dem Kraftwerk Zschornewitz der Elektrowerke A.-G. verbunden. Für die Entwicklung der badischen Elektrizitätsversorgung ist die Einsetzung eines Landes-Elektrizitäts- und Wasserwirtschaftsrates durch das badische Staatsministerium von Wichtigkeit. Diese neue Behörde, die sich aus 43 Mitgliedern zusammensetzt, soll das badische Arbeitsministerium in Angelegenheiten beraten, die die Nutzbarmachung von Wasserkräften, die Elektrizitätsversorgung des Landes und den Ausbau von Wasserstraßen betreffen. Das preußische Staatsministerium ist durch einen Landtagsbeschluß ermächtigt worden, für die Bewirtschaftung der staatlichen Elektrizitätsanlagen eine Weser-Main-Gebiet-Aktiengesellschaft zu gründen. Die staatlichen Anlagen in Dörverden nebst Hochspannungsleitungen und Umspannwerken werden der Aktiengesellschaft „Großkraftwerk Hannover" übereignet.

Arbeiten der fachwissenschaftlichen Vereine Die Vereinigung der Elektrizitätswerke schuf neue Anschlußvorschriften, beschäftigte sich mit der Normung von Landtransformatorenstationen und bearbeitete die Frage der Kreuzungen von Starkstromleitungen mit Bahnen, Wasserstraßen und Schwachstromleitungen. Zu erwähnen sind auch Untersuchungen über Elektrofutterbereitung.

Aus den Arbeiten der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen ist besonders hervorzuheben die Erbauung einer 4 km langen Versuchstrecke in einer 100 kV-Betriebsleitung der sächsischen Landesversorgung zur Erprobung verschiedener Isolatoren und verschiedener Befestigungs- und Verbindungsklemmen. Die Leitungen bestehen aus Reinaluminium und aus Stahlaluminium verschiedener Bauarten. Die Gesellschaft stellte ferner ausgedehnte Versuche über die thermische und mechanische Beanspruchung von Kabeln, Ölschaltern, Stromwandlern usw. an und behandelte in ihren Mitgliederversammlungen unter anderm die Frage der Nullpunkterdung und der Erdschlußstrom-Kompensierung durch Nullpunkt-Drosselspulen.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker schloß u. a. seine Arbeiten über die Erdungsfrage durch die Schaffung neuer Leitsätze für Schutzerdungen ab und schuf Normen für den elektrischen Sicherheitsgrad der einzelnen Teile einer Übertragungsanlage.

[M 2078] H. Zipp.

(Fortsetzung folgt).

BÜCHERSCHAU.

Die Bücher und Zeitschriften können durch den Verlag des Vereines deutscher Ingenieure, G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Die Öle und Fette in der Textilindustrie. Von Prof. Dr. Herbig, Chemnitz. III. Band der Monographien aus dem Gebiete der Fettchemie, herausgegeben von Prof. Dr. K. H. Bauer. Stuttgart 1923, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m. b. H. 302 S. Gz. brosch. 7, geb. 12.

Das Werk behandelt 1. die Fette, Öle und Wachsarten sowie deren Untersuchung, 2. die Textilseifen und Waschmittel sowie deren Untersuchung, 3. die Textilöle und ihre Analyse. Es steht inhaltlich dem vor etwa zwölf Jahren erschienenen, heute schon etwas veralteten Erbanschen Buche nahe, unterscheidet sich von ihm aber vorteilhaft durch seine breitere Grundlage; dadurch, daß es zugleich auch die allgemeine Fettchemie und etwas Technologie der Fette und Öle behandelt, macht es zum Teil den Textilfachmann von der Sonderliteratur unabhängig.

Wie nicht anders zu erwarten, zeugt das Buch von großem Sachverständnis und großer Belesenheit des Verfassers. Etwas Statistik und einige wirtschaftliche Notizen über Einfuhr, Erzeugung und Verbrauch von Fetten und Ölen in der Textilindustrie würden den Wert des Buches sehr heben. Dafür könnten einige Längen entfallen. Im allgemeinen Teil vermissen wir sehr die üblichen, sehr nützlichen Tabellen der Kennzahlen (s. Grün in Lunge-Berl, Lewkowitsch u. a. m.). Auch sonst läßt sich manches Material sehr vorteilhaft in Tabellen bringen, die nur spärlich (s. S. 181) vorhanden sind. Stellenweise scheinen die Sondorarbeitsgebiete des Verfassers gegenüber anderen etwas zu sehr begünstigt, so das Gebiet der Türkischrotöle, das straffer zusammengefaßt sein könnte, und sein Azetonverfahren, das im übrigen nicht den entsprechenden Anklang gefunden hat. Im technologischen Teil vermißt man hier und da die sichtende Hand des erfahrenen Praktikers; daher die Aufnahme zahlloser Rezepte, auch wertloser, die den Wert des Buches schmälern. Der analytische Teil ist bis auf eine etwas schwere Übersichtlichkeit durchweg gut gelungen.

Auf einige Unebenheiten und Druckfehler sei noch besonders hingewiesen. S. 11 Z. 8 ist Olivenöl als in Alkohol löslich bezeichnet; gemeint ist wohl Olivenkernöl. An vielen Stellen (S. 69, 130, 266, 273 usw.) ist zu lesen: „man wiegt ab"; diese entschieden zu verwerfende Schreibart wirkt sehr störend und wechselt zudem noch wahllos mit dem richtigen „man wägt ab" ab (S. 69, 271). S. 100 Z. 6 von unten werden 20 kg Kernseife in 100 l Wasser gelöst, das dürfte schwierig und unpraktisch sein. S. 101 wird auch von 50prozentiger Seifenlösung gesprochen. Die Abkürzung „Trotöl" für Türkischrotöl liest sich auch sehr störend; man könnte leicht eine bessere Abkürzungsform finden. Unter Seidenfärberei (S. 118) vermissen wir den größten Seifen- und somit Fettfresser in der Textilindustrie, das Seidenschwerschwarz. Außer dem erwähnten Abziehprozeß der Seide (aber nicht in der 40- bis 60fachen Menge Wasser, sondern in der 20fachen, wenn nicht gar nach dem Schaumverfahren gearbeitet wird), verschlingen dort die Arbeitsprozesse oft das Mehrfache des Seidengewichtes an Seife. S. 132 o. a. hätte gut auf die heute fast unentbehrlichen elektrischen Trockenschränke von Heraeus, Hanau, hingewiesen werden können, die von 50 °C an gleichbleibende Temperaturen ohne örtliche Überhitzung liefern. S. 136: Die Bestimmung des freien Alkalis in Seifen aus dem Unterschied zwischen Gesamt- und gebundenem Alkali sollte auch nicht für annähernde Bestimmungen empfohlen werden. Die Verdienste der Firma Stockhausen & Co., Krefeld, hätten bei Besprechung des Tetrapols usw. hervorgehoben werden sollen, auf das sich alle anderen Erzeugnisse dieser Art aufbauen. Die Mineralöl lösende Wirkung des Tetrapols scheint der Verfasser etwas zu unterschätzen (S. 172).

Abgesehen von solchen kleinen Unebenheiten kann das Werk im allgemeinen als eine sehr gute Leistung bezeichnet werden, die einem lebhaften Bedürfnis des modernen Textilchemikers, vielleicht noch mehr demjenigen des für die Textilindustrie tätigen Fettchemikers und Industriellen, nachkommt.

Dem inneren Wert der Arbeit entspricht aber nicht die äußere Ausstattung des Buches, vor allem das Papier. Dieses besteht, wie eine Untersuchung ergab, aus etwa 80 vH Holzschliff und 20 vH Holzzellulose, ist also gewöhnliches Zeitungspapier. Aller Voraussicht nach wird es auch nur von geringer Festigkeit und Falzfähigkeit sein und schnell vergilben und brüchig werden (soweit es dies noch nicht ist). Sparsamkeit an falscher Stelle ist bekanntlich gröbliche Verschwendung! Daß es auch heute möglich ist, gutes und haltbares Papier zu verwenden, beweisen andre Verleger. Ich pflege mir von meinem Verleger das in Aussicht genommene Papier vorlegen zu lassen.

[B 2017] Heermann.

Metallographie. Herausgegeben von Dr. W. Guertler, a. o. Prof. a. d. Techn. Hochschule Berlin. **Die elektrische und Wärme-Leitfähigkeit.** Von Dr. A. Schulze. Berlin 1923, Gebr. Borntraeger. 185 S. mit 36 Abb.

Die vorliegende Lieferung behandelt die elektrische Leitfähigkeit metallischer Leiter. Verfasser gibt vor allem eine möglichst vollständige, sorgfältige Zusammenstellung des vorhandenen Beobachtungsmaterials, nach Möglichkeit auch des ausländischen. Auf die verwendeten Meßmethoden und auf die Theorie der elektrischen Leitfähigkeit ist nur ganz kurz eingegangen.

Im ersten Kapitel, das den größten Teil des Heftes, 126 Seiten, umfaßt, sind die verschiedenen Metalle der Reihe nach, in Gruppen geordnet, behandelt. Auch für die alkalischen und seltenen Erden, Zirkon, Titan, Silicium, Kohlenstoff, Bor, Schwefel, Phosphor sind die vorhandenen Beobachtungen zusammengetragen. Vielfach sind graphische Darstellungen zu Hilfe genommen. Zum Schluß sind in Tabellen und in zwei, in großem Maßstabe gezeichneten Kurventafeln die wichtigsten Ergebnisse über den spezifischen Widerstand und seine Abhängigkeit von der Temperatur zusammengestellt.

Das zweite Kapitel betrifft den supraleitenden Zustand, auf den aber auch schon im ersten bei den einzelnen Metallen eingegangen ist, das dritte bis siebente Kapitel Leitfähigkeitsänderungen bei Modifikationsumwandlungen, beim Schmelzen der Metalle, bei Formänderung, bei Druckänderung, bei Änderung des äußeren Magnetfeldes. Im achten bis elften Kapitel wird die Leitfähigkeit für Wechselstrom, der Einfluß von Belichtung, Bestrahlung, Kristallstruktur, Zerteilung in Pulver und dünne Schichten behandelt.

Das zwölfte Kapitel gibt die erwähnte kurze Zusammenstellung der theoretischen Erklärungsversuche für die beobachteten Erscheinungen. Die darin berührten neueren Theorien stehen, wie beiläufig bemerkt werden möge, zum Teil im Gegensatz zu den in der Einleitung des ganzen Heftes sich findenden Worten: „Im Innern aller metallisch leitenden Stoffe sind diese Elektronen frei beweglich. Sie haben sich durch irgendwelche Vorgänge von den Stoffatomen getrennt."

Die Literaturangaben befinden sich der Mehrzahl nach, was vielleicht von manchen bedauert werden wird, in einem besonderen dritten Bande des Werkes, dem Quellennachweis für das ganze Buch. Bei einigen zusammenfassenden Berichten u. dergl. ist die Veröffentlichungsstelle angeführt. [B 2037] W. Meißner.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 2 — SONNABEND, 12. JANUAR 1924 — BD. 68

INHALT:

Der Zeitakkord, sein Wesen, seine Auswirkung auf die Tarifverträge und seine Anwendung.

Von Baurat F. Haier, Betriebsleiter der Firma R. Wolf A.-G., Magdeburg-Buckau.

Nach einem kurzen Hinweis auf die großen Nachteile, die sich beim Geldakkord infolge der fortschreitenden Geldentwertung ergeben haben, werden auf Grund mehrjähriger Erfahrung mit dem Zeitakkord die wesentlichen Gesichtspunkte für die Bemessung der beiden bei seiner Anwendung festzulegenden Faktoren, der Vorgabezeit und der Akkordgrundlage, erörtert. Die beiden Möglichkeiten: knappe Zeiten und hohe Akkordgrundlage, oder weniger knappe Zeiten und entsprechend niedrigere Akkordgrundlage, werden gegeneinander abgewogen und auf ihren psychologischen Unterschied und ihre Anwendungsgebiete geprüft. Es wird ferner gezeigt, welche Folgerungen aus diesen Möglichkeiten und den sonstigen Eigentümlichkeiten des Zeitakkordes in tarifpolitischer Hinsicht zu ziehen sind, nach welchen Erwägungen bei der praktischen Anwendung des Zeitakkordes die Bestimmung von Vorgabezeit und Akkordgrundlage zu erfolgen hat, um den Anreiz zur Arbeit in gesunden Grenzen zu halten, und welche Folgerungen für die Vorkalkulation sich hieraus ergeben. An Hand von Beispielen wird alsdann die Durchführung des Zeitakkordes einschließlich des Gruppenakkordes und seiner Abrechnung vorgeführt und eine zusammenfassende Übersicht gegeben über die Vorzüge des Zeitakkordes und ihre Auswirkung auf die gesamte Betriebsführung, die Betriebsabrechnung und den Wirtschaftsfrieden.

Die Frage der Vergebung der Stücklohnarbeit nach Zeit statt wie bisher nach Geld ist für die leitenden Kreise der Industrie infolge der unhaltbaren Zustände, die sich mit der fortschreitenden Geldentwertung bei der Vergebung nach Geld herausgebildet haben, von großer Bedeutung geworden. Man hat erkannt, daß der Zeitakkord die weitaus bessere Organisationsform ist, welche ihre großen Vorzüge auch beim Wiedereintritt stetiger Geldverhältnisse behalten wird. Der Verfasser hat diesen Gegenstand in mehreren Vorträgen in der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure behandelt, deren wesentlicher Inhalt nach weiterer Durcharbeitung nachstehend wiedergegeben ist.

I. Der Geldakkord, seine Nachteile und sein Verhältnis zum Zeitakkord.

Der übliche Weg bei der Bemessung von Akkorden war, solange stetige Geldverhältnisse vorlagen, der, für eine bestimmte Arbeit einen bestimmten Geldbetrag festzusetzen. Dieser Geldbetrag baute sich auf aus der für die Arbeit als angemessen zugrunde gelegten Zeit und der Möglichkeit, einen bestimmten durchschnittlichen Stundenverdienst zu erreichen.

Dabei war in der Regel die Vereinbarung getroffen, daß die Akkordpreise sich nicht ändern sollten, solange keine Änderungen in der Art der Herstellung des Stückes oder in der für die Arbeit verwandten Hilfsmittel eintraten.

Mit der fortschreitenden Geldentwertung war man gezwungen, auch die Geldbeträge für die Akkorde dauernd zu ändern. Dies geschah zunächst meist durch prozentuale Zuschläge auf die mit einem bestimmten Stundenlohn errechneten sogenannten Grundakkorde. Da aber natürlich auch diese prozentualen Zuschläge bei jeder Tarifänderung andre Werte erhielten, so wurde diese Rechnung immer schwieriger, je rascher die Geldentwertung fortschritt und je öfter damit die Lohnsätze dieser Entwertung angepaßt werden mußten. Die mit der Festsetzung der Stücklöhne betrauten Organe mußten sich daher in dauernden Umrechnungen erschöpfen und wurden ihrer eigentlichen Aufgabe, die Richtigkeit der herausgegebenen Akkorde, d. h. der Zeiten, zu verfolgen, mehr und mehr entzogen. Die Ausrechnung wurde besonders bei länger dauernden Stücklohnarbeiten und dann, wenn ganze Gruppen von Arbeitern an dem Akkord beschäftigt waren, also beim Gruppenakkord, immer unübersichtlicher und zeitraubender. Vielfach nahm man daher Zuflucht zu den sogenannten Teuerungszuschlägen. Das vereinfachte zwar die Ausrechnung, hatte aber die allerbedenklichsten Folgen. Denn es ist klar, daß damit die Akkordarbeit, an deren Aufrechterhaltung die Wirtschaft das größte Interesse hat, mehr und mehr gerade von den Organen abgebaut wurde, die alles daran setzen mußten, sie nicht zu beeinträchtigen. Gab es doch Tarifgebiete, in denen der Akkordanteil bis auf 10 vH des Verdienstes sank, während der Hauptanteil des Verdienstes auf Teuerungszulagen entfiel, die für die geleistete Stunde festgesetzt wurden, also reine Lohnarbeit darstellten. Das war natürlich ein Behelf allerübelster Art.

Durchgreifende Abhilfe ergab hiergegen nur der Zeitakkord, d. h. also das Verfahren der Arbeitvergebung, bei dem für die einzelnen Arbeiten grundsätzlich nur die von der Geldentwertung unabhängigen Zeiten für die Dauer der Arbeit vor deren Inangriffnahme festgelegt und auf den Arbeitzetteln eingetragen werden. Diese Vorgabezeiten, wie ich sie nennen will, werden ohne Rücksicht auf die tatsächlich gebrauchten Zeiten bezahlt. Die Bewertung der Zeiteinheit dieser Vorgabe erfolgt dabei berufsgruppenweise auf Grund der tariflichen Vereinbarungen.

So naheliegend dieses Vorgehen schon aus dem Grunde war, daß ja auch der Geldakkord auf der für die Arbeit voraussichtlich aufzuwendenden Zeit aufgebaut werden mußte, so hat es trotzdem nur langsam Boden gewonnen. Auch heute ist es noch lange nicht überall durchgeführt, wenn auch das Interesse dafür, wie insbesondere die Veröffentlichungen der allerletzten Zeit zeigen, stark im Wachsen begriffen ist und gut geleitete Betriebe der Metallindustrie wohl in überwiegender Zahl dazu übergegangen sind, oder im Begriffe sind, dies zu tun. Tatsächlich waren geordnete Arbeitsverhältnisse bei der Akkordarbeit angesichts der von Woche zu Woche notwendig gewordenen Anpassung der Verdienste an die Geldentwertung ohne Zuhilfenahme der Zeitakkorde nicht mehr denkbar. Außerdem hat aber der Zeitakord so offenkundige Vorteile auch dann, wenn wieder stetige Geldverhältnisse eintreten, daß alle Veranlassung vorlag, sich mit seinem Wesen und seinen Eigentümlichkeiten eingehend vertraut zu machen. Hat doch unsere gesamte Wirtschaft das allergrößte Interesse daran, daß die Akkordarbeit nicht nur keine Einbuße erleidet, sondern auf gesunder Grundlage, wie sie der Zeitakkord bietet, möglichst umfassend weiter ausgebaut wird.

Die nachstehenden Ausführungen über den Zeitakkord stützen sich auf die Erfahrungen, die ich sowohl in einer nunmehr 3½jährigen Entwicklung seiner Anwendung in den Betrieben der Firma R. Wolf A.-G. in Magdeburg als auch bei der Mitwirkung am Ausbau des Tarifvertrages für die Magdeburgische Metallindustrie damit gemacht habe.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen dem Geld- und dem Zeitakkord besteht darin, daß im ersteren Fall eine Vereinbarung über den Stückpreis, also über das Produkt aus der Stückzeit und dem für die Zeiteinheit zugrunde gelegten Geld-

betrag, stattzufinden hat, ohne daß jedoch diese beiden Faktoren einzeln festgelegt werden müssen. Der Zeitakkord dagegen verlangt dem Arbeiter gegenüber die Festlegung beider Faktoren, also sowohl der für jede einzelne Arbeit anzusetzenden Zeit, der Stückzeit, als auch des für die Zeiteinheit gültigen Geldbetrages, mithin der im folgenden als Akkordgrundlage bezeichneten Zahl.

Natürlich ist auch beim Zeitakkord das Ziel der Festlegungen die Herbeiführung einer innerhalb gewisser Grenzen liegenden Verdiensthöhe, die durch die jeweiligen wirtschaftlichen Verhältnisse bedingt ist.

Es ist deshalb ohne weiteres klar, daß die beiden Faktoren in einer gewissen gegenseitigen Abhängigkeit voneinander stehen. Zu beachten ist ferner, daß für beide Faktoren gewisse Bindungen vorliegen. Der Geldfaktor, die Akkordgrundlage, ergibt sich berufsgruppenweise aus den tariflichen Abmachungen und ist außerdem, was ich von vornherein besonders betone, von den Grundsätzen für die Zeitfestsetzung abhängig. Für den Zeitfaktor, die Stückzeit, gilt im allgemeinen der gleiche Grundsatz, der zurzeit stetiger Geldverhältnisse für den Geldakkord, also den Stücklohn, üblich war und der dahin lautet, daß die einmal für die Herstellung einer bestimmten Arbeit festgelegte Zeit nicht geändert werden soll, solange keine Änderungen in der Art und der Reihenfolge der Arbeitsunterteilung oder der dafür verwendeten Hilfsmittel eintreten.

Daraus folgt, daß die beim Zeitakkord von vornherein gegebenen Bindungen erheblich weitergehen als beim Geldakkord. Diese Bindungen sowohl als die gegenseitige Abhängigkeit beider Faktoren zwingen daher dazu, daß die Festlegung der letzteren vor ihrer Herausgabe sehr viel sorgfältiger zu überlegen ist, als dies beim Geldakkord für den Stücklohn notwendig war. Da sich die Überlegungen auf beide Faktoren und auf ihre gegenseitige Abhängigkeit zu erstrecken haben, führt das aber auch dazu, das Akkordproblem überhaupt viel schärfer zu durchleuchten.

Natürlich ist eine zuverlässige Zeitvorausbestimmung sowie die Schaffung der hierfür erforderlichen Einrichtungen und Unterlagen die erste Voraussetzung für die Festlegung von Zeitakkorden und für letztere naturgemäß noch von größerer Bedeutung, als sie diesen Bedingungen schon für die richtige Ermittlung der alten Geldakkorde zukam. Ich beabsichtige jedoch nicht, die Verfahren der Zeitermittlung an dieser Stelle näher zu behandeln, da hierüber eine ganze Anzahl guter Veröffentlichungen vorliegen. Ebenso will ich auf das Wesen der Akkordarbeit im allgemeinen, insbesondere hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Anreiz zur Leistungssteigerung, nicht näher eingehen. Diese Wirkung war natürlich beim Geldakkord zur Zeit stetiger Währungsverhältnisse ebenso vorhanden.

Für notwendig halte ich es aber, auf diejenigen Punkte näher hinzuweisen und sie klar herauszuheben, die nach meinem Dafürhalten beim Zeitakkord sowohl bei der Zeitfestlegung als auch bei der Bewertung der Zeiteinheit eine grundsätzliche Rolle spielen und bei seiner allgemeinen Einführung besonders zu beachten sind, wenn man Unzuträglichkeiten von vornherein vermeiden und den Anreiz zur Arbeit in gesunden Bahnen halten will. Es sind diese Gesichtspunkte, die nicht nur für den einzelnen Betrieb von wesentlicher Bedeutung sind, sondern welche darüber hinaus auch weitgehende tarifpolitische Auswirkung haben, also für alle durch einen Tarifvertrag zusammengeschlossenen Werke in Frage kommen.

Ich werde ferner die praktische Handhabung des Zeitakkordes an Hand von ausgefüllten Vordrucken vorführen und werde sodann die besonderen Vorteile, die die Anwendung des Zeitakkordes bietet, zusammenfassend besprechen.

II. Der Zeitakkord und das Verhältnis seiner beiden Faktoren, der Vorgabezeit und des Geldwertes der Zeiteinheit, der Akkordgrundlage.

Die erste grundsätzliche Überlegung bei der Festlegung der beiden Faktoren beim Zeitakkord ist die, ob man die Zeit knapp und den Geldwert der Zeiteinheit hoch bemessen will, oder umgekehrt. Bemißt man die Zeit recht knapp, paßt sie also der Zeit an, welche der Leistung eines Durchschnittsarbeiters oder gar eines Spitzenarbeiters bei normalem Fleiß entspricht, so ist man genötigt, um auf eine gewisse Verdiensthöhe für den normalen Durchschnittsarbeiter zu kommen, die Akkordgrundlage so hoch anzusetzen, daß sie sich in der Nähe des Durchschnittsverdienstes der betreffenden Berufsgruppe oder gar darüber bewegen wird. Die unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter werden hierbei mit ihrem Stundenverdienst nicht auf die Akkordgrundlage kommen, und ein Überverdienst über die Akkordgrundlage wird nur von einer verhältnismäßig geringen Zahl von Arbeitern erreicht werden. Die Absicht bei diesem Vorgehen ist, durch die an sich schon knapp bemessene Zeit einen Anreiz zu schaffen, sie noch weiter zu verringern, um über die hoch bemessene Akkordgrundlage hinaus noch einen höheren Verdienst zu erzielen.

Beschreitet man den andern Weg, die Arbeitzeit reichlicher anzusetzen dadurch, daß auf die ermittelten reinen Arbeitzeiten[1]) ein entsprechender Zuschlag an Verlustzeit gemacht wird, so daß auch eine gewisse Zahl der unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter diese Zeiten zu erreichen in der Lage ist, so muß die Akkordgrundlage niedriger bemessen werden. Sie wird in diesem Fall in der Nähe der Verdiensthöhe des Zeitlohnarbeiters liegen, so daß also auch eine mehr oder weniger große Zahl der unter dem Durchschnitt liegenden Akkordarbeiter mit ihrem Stundenverdienst über die Akkordgrundlage kommt. Die Möglichkeit der Erzielung eines Überverdienstes über die Akkordgrundlage ist also dann einer größeren Zahl von Arbeitern in verhältnismäßig reichlichem Maße gegeben, und man wird weniger mit Akkordstreitigkeiten über die Angemessenheit der Zeitvorgabe zu rechnen haben.

Aus diesen Darlegungen folgt, daß für die Entscheidung, ob die eine oder andere Art des Vorgehens gewählt werden soll, psychologische Erwägungen wesentlich mitbestimmend sind. Anzustreben ist natürlich eine möglichst scharfe Zeiterfassung. Bestimmend, wie weit man gehen kann, wird aber sein, inwieweit die Schärfe dieser Zeiterfassung sich wirtschaftlich bewirken läßt.

Scharfe Zeiten wird man deshalb im allgemeinen nur dort mit gutem Erfolg herausgeben können, wo diese ohne allzu großen Aufwand auch wirklich ausreichend sicher zu erfassen sind, so daß also auch wirklich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der tatsächlich sich ergebenden Gebrauchszeit des Durchschnittsarbeiters und der der Vorgabe zugrunde gelegten Zeit zu erreichen ist. Dies dürfte vor allem für die Massenfertigung sowie auch für weitgehend durchgeführte Reihenfertigung zutreffen. In allen andern Fällen, hauptsächlich bei Einzelfertigung, sowie bei beschränkter Reihenfertigung, ganz besonders aber in Betrieben mit verschieden gelagerten Arbeitverhältnissen, wird sich von selbst eine gewisse mehr oder weniger große Spanne zwischen Gebrauchzeit und Vorgabezeit einstellen, namentlich dann, wenn es sich mehr um Handarbeit handelt, also Schlosser-, Schmiede-, Kesselschmiede-, Formerarbeit und dergl., als um Maschinenarbeit. Bei der Handarbeit muß man sich schon deshalb mit geringerer Genauigkeit der ermittelten Zeiten begnügen, weil man bei ihr bei der Zeitfestlegung letzten Endes nur auf Beobachtungen und Versuche, sowie auf Verwertung daraus entspringender Erfahrungen angewiesen ist, im Gegensatz zu der Maschinenarbeit, bei der die Möglichkeit besteht, die Zeiten in verhältnismäßig weitgehendem Umfang rechnerisch zu ermitteln.

III. Die Auswirkung des Zeitakkordes auf die Abfassung der Tarifverträge.

Aus diesen Erwägungen entspringt nun eine wichtige Folgerung für die durchaus verschieden behandelte Frage, ob man in den Tarifverträgen bei den Abmachungen über die Entlohnung der Akkordarbeiter Richtwerte für die Höhe der jeweiligen Durchschnittsverdienste der einzelnen Berufsgruppen festlegen soll, oder der Akkordgrundlagen, also der Geldbeträge, mit denen beim Zeitakkord die Einheit der Vorgabezeit für die verschiedenen Berufsgruppen bewertet werden muß.

Will man das letztere, so müßte in dem Vertrag auch angegeben werden, ob und in welcher Höhe in die zu der Akkordgrundlage gehörige Vorgabezeit Zeitverluste einzurechnen sind, und es müßte hiernach gleichzeitig eine einheitliche Zeitbemessung vorgeschrieben werden. Es würden dann gesunde Verhältnisse nur herbeizuführen sein, wenn es gelänge, diese einheitliche Zeitbemessung in sämtlichen Betrieben durchzuführen, die Zeit für eine bestimmte Arbeit also überall einheitlich anzusetzen. Das einwandfrei zu erreichen, halte ich aber nicht für möglich. Ganz abgesehen von dem Einfluß der persönlichen Einstellung des Kalkulators, mit der bis zu einem gewissen Grad immer gerechnet werden muß, läßt sich der Einfluß der Eigenart des Betriebes auf die Möglichkeit der mehr oder minder scharfen Zeiterfassung praktisch nicht ausschalten. Hinzu kommt, daß fast jeder Betrieb sowohl bezüglich seiner Einrichtungen und Hilfsmittel, wie der Leistungsfähigkeit seiner Arbeiter erhebliche Unterschiede aufweist.

Die einheitliche Festlegung der Akkordgrundlage, selbst wenn die Art der Zeitbemessung vorgeschrieben wird, was zurzeit in den Tarifverträgen in der Regel nicht geschieht, muß daher notwendig zur Verwilderung führen, und hierin ist zweifellos begründet, daß eine solche in verschiedenen Tarifgebieten in erheblichem Umfang eingetreten ist und zu ganz bedeutenden Abweichungen der durchschnittlichen Verdiensthöhen der einzelnen Berufsgruppen bei den verschiedenen Firmen geführt hat, die keineswegs durch verschieden hohe

[1]) Unter reinen Arbeitzeiten sind hierbei verstanden alle durch die Durchführung der Arbeit tatsächlich bedingten Arbeitsverrichtungen. Diese werden im allgemeinen unterschieden in Einrichtezeiten, eigentliche Arbeitzeiten zur Vornahme der vorgeschriebenen Formänderung oder des Zusammenbaues, Griffzeiten zur Einstellung von Werkstück und Werkzeug, soweit dies außerhalb der Einrichtezeit erforderlich ist, und Nebenzeiten zur Vornahme von etwa in die Arbeitsdurchführung noch mit eingerechnete Verrichtungen, wie Heranholen von Material, Werkzeug usw., Zeiten, die indessen nach Möglichkeit zu beschränken und billigeren Hilfskräften zu übertragen sind. Aller sonstige Zeitaufwand für menschliche Bedürfnisse u. dergl., sowie auch etwaiger Zeitverbrauch für vorstehende Arbeiten, der über den eines Arbeiters von durchschnittlicher Leistungsfähigkeit und Geschicklichkeit bei normalem Fleiß hinausgeht, fällt unter den Begriff Verlustzeit.

Leistung begründet sind, sondern nur in der verschieden gehandhabten Bemessung der Zeitzuschläge und Zeitfestsetzung ihren Grund haben. Das muß aber zu ungesunden Verhältnissen zwischen den einzelnen Betrieben führen, die den Absichten bei der Schaffung von Tarifverträgen nicht entsprechen. Diese Absichten gehen doch letzten Endes dahin, durch den Vertrag innerhalb begrenzter Wirtschaftsgebiete einerseits für gleiche Leistungen auch annähernd gleiche Entlohnung herbeizuführen, und anderseits zu vermeiden, daß durch unbegründet verschieden hohe Bezahlung die Betriebe sich gegenseitig die Arbeitskräfte entziehen.

Zur Vermeidung solcher Unzuträglichkeiten wird es bei der Festlegung von Akkordgrundlagen im Tarifvertrag also noch nicht genügen, wenn angegeben wird, für welche Art der Zeitbemessung diese Akkordgrundlagen gelten, oder mit andern Worten, ob und wie hoch Verlustzeiten in Anrechnung kommen sollen. Es muß außerdem auch die Möglichkeit einer entsprechenden Umrechnung der Akkordgrundlagen offen bleiben für solche Betriebe, für die es sich als zweckmäßig erweist, eine andre Zeitzugabe oder Zeiterfassung zu wählen als die, welche den Tarifwerten zugrunde gelegt ist.

Bei der Festlegung von Richtwerten für die Durchschnittsverdienste im Tarifvertrag ist es offenkundig, daß sich aus diesen die tatsächlich zur Anwendung kommenden Beträge für die Vorgabezeitbewertung, also die Akkordgrundlagen, je nach der Art der Zeitbemessung bestimmen müssen. Natürlich bedarf es dazu aber für den einzelnen Betrieb auch einer Klarstellung bzw. einer Vereinbarung über das Vorgehen bei der Zeitfestlegung, d. h. über das Verhältnis zwischen Vorgabe- und tatsächlich gebrauchter Zeit, das in dem betreffenden Werk vorliegt, oder gewählt werden soll, mit andern Worten also darüber, in welchem Umfang Verlustzeiten in die Zeitvorgabe eingerechnet sind oder eingerechnet werden sollen.

Nur unter diesen Voraussetzungen ist es im einen oder andern Fall jedem Betrieb möglich gemacht, bei der Erfassung der Zeiten so zu verfahren, wie es die ausreichende Berücksichtigung der Eigenart seiner Verhältnisse erfordert.

Die tatsächlich in Anwendung kommenden Akkordgrundlagen werden dann je nach der Art der Zeiterfassung in den einzelnen Betrieben verschieden hoch zu liegen kommen, denn jede Firma ist nun in der Lage, dem von ihr gewählten oder bei ihr möglichen Vorgehen entsprechend die Akkordgrundlagen aus den im Tarifvertrag gemachten Festlegungen selbst zu errechnen.

IV. Die Anwendung des Zeitakkordes.

Diesen Gesichtspunkten ist bisher bei der Abfassung von Tarifverträgen nicht hinreichend Rechnung getragen worden. Auch in den sehr bemerkenswerten Ausführungen von Direktor Schmerse über „Tarifliche Regelung des Akkordwesens“ und „Vereinheitlichung der deutschen Lohntarife“ in der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ Nr. 45 S. 1677 u. f. vom 9. November 1922 und Nr. 5 S. 145 u. f. vom 1. Februar 1923, auf die ich noch zu sprechen kommen werde, ist darauf nicht Rücksicht genommen. Der Tarifvertrag der Berliner Metallindustrie setzt zwar fest, daß die Akkordbasis für die sogenannte 50-Minuten-Stunde gilt. Wenn dies dahin aufzufassen ist, daß die im Tarifvertrag festgelegte Akkordgrundlage den Geldwert für eine Arbeit darstellt, die zwar in 60 Minuten geleistet wird, für die aber ein Arbeiter von durchschnittlicher Leistungsfähigkeit und Geschicklichkeit bei normalem Fleiß 50 Minuten reine Arbeitszeit aufzuwenden hätte, so würde das bedeuten, daß in die Vorgabezeit auf 50 Minuten eigentliche Arbeitzeit 10 Minuten = 20 vH Verlustzeit einzurechnen sind, und es würden alle Betriebe gezwungen sein, dies einheitlich durchzuführen.

Man hat aber offenbar auch in Berlin gefunden, daß, wie im vorstehenden dargelegt, eine solche Bestimmung zur Herbeiführung gesunder Verhältnisse nicht ausreicht. Nach dem Ergebnis der gemeinsam mit dem Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AwF) durchgeführten Arbeiten scheint man daher im Begriff zu sein, die tasächliche Bewertung der Zeiteinheit, also der Vorgabeminuten, in Übereinstimmung mit den im vorigen Abschnitt gemachten Darlegungen vorzunehmen, sie also je nach der Größe der Verlustzeitrechnung verschieden hoch zu bemessen.

In Zahlentafel 1 habe ich einige Beispiele einander gegenübergestellt, die zeigen, welche Unterschiede sich bei verschieden hoher Bemessung der Vorgabezeit ergeben können. Dabei ist bei den beiden ersten Beispielen ausgegangen von den im Tarifvertrag der Berliner Metallindustrie getroffenen Festlegungen, während für die beiden letzten Beispiele diejenigen des Tarifvertrages der Magdeburgischen Metallindustrie den Ausgangspunkt bilden.

In Berlin ist, wie bereits gesagt, der Geldwert für die 50-Minuten-Stunde tariflich festgelegt, d. h. für eine Vorgabestunde, in die 20 vH Verlustzeit über die von einem Arbeiter durchschnittlicher Leistungsfähigkeit und Geschicklichkeit bei normalem Fleiß hinaus gebrauchte reine Arbeitszeit eingerechnet ist. In Magdeburg dagegen erstrecken sich die Festlegungen auf Richtwerte für die Durchschnitts-Stundenverdienste der einzelnen Berufsarten, natürlich gleichfalls unter der Voraussetzung durchschnittlicher Leistungsfähigkeit und Geschicklichkeit bei normalem Fleiß.

Die Beispiele sind nun so gewählt, daß sich alle auf eine Arbeit beziehen, für die bei durchschnittlicher Leistungsfähigkeit 50 Minuten reine Arbeitszeit aufzuwenden sein würde. Außerdem ist durchweg die Voraussetzung gemacht, daß für den Durchschnittsarbeiter 5 vH Verlustzeit für menschliche Bedürfnisse in Anrechnung zu bringen sind, so daß sich für diesen also über obige Zeit hinaus 2½ Minuten oder insgesamt 52½ Minuten Gebrauchzeit ergeben. Im ersten Beispiel ist angenommen, daß die Zeit sehr knapp bemessen wird und nur reine Arbeitzeit bei der Vorgabe in Ansatz kommt. Die Vorgabezeit würde also 50 Minuten betragen, d. h. kleiner als die Gebrauchzeit sein, und das Verhältnis beider würde sich zu 0,9524 ergeben. Im zweiten Fall ist in die Vorgabezeit 20 vH Verlustzeit eingerechnet, diese also dem Verhältnis entsprechend bemessen, das für die im Tarifvertrag der Berliner Metallindustrie festgelegte Akkordgrundlage gilt. Die Vorgabezeit errechnet sich dann zu 60 Minuten, also höher als die Gebrauchzeit, und das Verhältnis zur letzteren beträgt 1,1428. Die für die Verrechnung zu benutzende Akkordgrundlage stimmt dann mit der im Berliner Tarifvertrag enthaltenen überein, während sie sich im ersten Beispiel um 20 vH höher ergibt. Im dritten Beispiel ist die Vorgabezeit der vom Durchschnittsarbeiter zu erwartenden Gebrauchzeit gleich gesetzt. Es sind also nach der für diesen gemachten Voraussetzung 5 vH Verlustzeit in die Vorgabezeit eingerechnet, so daß Vorgabe- und Gebrauchzeit 52½ Minuten betragen, ihr gegenseitiges Verhältnis ist also gleich 1,0. Im vierten Beispiel endlich ist die Vorgabezeit so bemessen, daß über die Gebrauchzeit des Durchschnittsarbeiters hinaus weitere 10 vH, insgesamt also $5 + 1{,}05 \times 10 = 15{,}5$ vH Verlustzeit auf die reine Arbeitzeit in Anrechnung gebracht sind. Die Vorgabezeit ergibt sich dann zu $52{,}5 \times 1{,}1 = 57¾$ Minuten und ihr Verhältnis zur Gebrauchzeit zu 1,1. Dementsprechend ist dann die zur Verrechnung zu benutzende Akkordgrundlage im dritten Beispiel ebenso hoch, wie der in dem Magdeburger Tarifvertrag festgelegte Wert für den Durchschnitts-Stundenverdienst der betreffenden Berufsgruppe, wäh-

Zahlentafel 1. Gegenüberstellung von Akkordgrundlagen und Vorgabezeiten bei verschiedenen Ausgangswerten und verschieden hoher Einrechnung von Verlustzeiten.

Ausgangswert		Vorgabeart	Vorgabewert = Akkordgrundlage		Vorgabezeit	Stückpreis	gebrauchte Zeit	Verhältnis von Vorgabezeit zu gebrauchter Zeit	Durchschnittsstundenverdienst		Schwankungen des Durchschnittsstundenverdienstes bei ∓ 10 vH Abweichungen vom Durchschnitt	
	ℳ		je st ℳ	je min ℳ	min	ℳ	min		ℳ	min	ℳ	min
Geldwert für 60 min bei 50 min reiner Arbeitszeit des Durchschnittsarbeiters (nach dem Berliner Tarifvertrag)	53 130	reine Arbeitszeit	60 · 53 130 / 50 = 63 756	1062,6	50	53 130	52,5	0,9524	60 720	57,14	54 648 ÷ 66 792	51,43 ÷ 62,85
	„	120 vH reine Arbeitszeit	53 130	885,5	60	„	„	1,1428	„	68,57	„	61,71 ÷ 75,43
Mittl. Stundenverdienst des Durchschnittsarbeiters = 1,15 · Zeitlohn = 1,15 · 52 800 (nach dem Magdeburger Tarifvertrag)	60 720	Durchschnittszeit = 105 vH reine Arbeitszeit	60 720	1012,—	52,5	53 130	52,5	1,—	60 720	60	54 648 ÷ 66 792	54 ÷ 66
	„	110 vH Durchschn.-zeit = 115,5 vH reine Arbeitszeit	60 720 : 1,1 = 55 200	920,—	57,75	„	„	1,1	„	66	„	59,4 ÷ 72 6

rend sie sich im vierten Beispiel aus letzterer Zahl durch Division mit der Verhältniszahl 1,1 ergibt, also niedriger liegt.

Im Vergleich zum Durchschnittsverdienst, dessen Geldwert sich natürlich in allen vier Fällen gleich hoch ergeben muß, liegt dann die Akkordgrundlage im ersten Beispiel höher, im zweiten dagegen tiefer. Im dritten Beispiel stimmen beide Werte überein, und im vierten liegt die Akkordgrundlage wieder tiefer als der Durchschnittsverdienst, mit andern Worten heißt das: im ersten Fall kommt noch nicht einmal der Durchschnittsarbeiter, sondern erst der 5 vH darüber liegende Arbeiter mit seinem Stundenverdienst auf die Akkordgrundlage, während diese im zweiten Fall schon von allen rd. 15 vH unter dem Durchschnitt liegenden Arbeitern erreicht wird. Im dritten Fall kommen die Durchschnittsarbeiter sowie alle über dem Durchschnitt liegenden Arbeiter auf oder über die Akkordgrundlage, während die unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter sie nicht erreichen. In dem letzten Beispiel endlich sind alle bis zu 10 vH unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter in der Lage, mit ihrem Stundenverdienst auf oder über die Akkordgrundlage zu kommen. Wird der Durchschnitts-Stundenverdienst in Vorgabeminuten ausgedrückt, so ergibt er sich im ersten Beispiel zu 57,14mal den Wert einer Vorgabeminute, im zweiten Beispiel zu 68,57- und im dritten und vierten Beispiel zu 60- bzw. 66 mal diesem Vorgabewert. Im ersten Beispiel bleibt also der Durchschnitts-Stundenverdienst, in Minuten ausgedrückt, unter dem Wert 60, im dritten Beispiel ist er diesem Wert gleich, und im zweiten und vierten Beispiel überschreitet er den Wert von 60 Vorgabeminuten. In diesen beiden Beispielen erreicht also auch eine große Zahl der unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter eine Verdiensthöhe von 60 Vorgabeminuten, während im dritten Beispiel für alle unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter dies nicht zutrifft und im ersten Beispiel nur die Spitzenarbeiter den Wert von 60 Vorgabeminuten und darüber erreichen. Diese Verhältnisse spielen bei der Entscheidung, in welchem Umfang Verlustzeiten in die Vorgabezeiten eingerechnet werden sollen, deshalb eine nicht unbedeutende Rolle, weil bei der Einführung des Zeitakkordes erfahrungsgemäß nach kurzer Zeit der Durchschnittsverdienst auch vom Arbeiter nur noch in Vorgabeminuten ausgedrückt wird, und weil die Neigung, über die Angemessenheit der Akkordzeiten zu streiten, größer sein wird, wenn bei der Mehrzahl der Arbeiter der Durchschnittsverdienst, in Vorgabeminuten ausgedrückt, hinter der Zahl 60 zurückbleibt, als wenn er diese überschreitet. Die Zahlentafel zeigt auch klar, wie unbedingt notwendig es ist, die in einzelnen Betrieben tatsächlich in Benutzung kommende Akkordgrundlage von der Vorgabeart, d. h. von der Höhe der Verlustzeiteinrechnung, abhängig zu machen, und daß es zu Unzuträglichkeiten führen muß, wenn ohne Rücksicht auf diese Vorgabeart eine im Tarifvertrag vorgeschriebene Zahl als Akkordgrundlage benutzt werden soll.

Nach diesen allgemeinen Ausführungen möchte ich nunmehr das von mir gewählte Vorgehen bei der Firma R. Wolf A.-G., Magdeburg, näher erläutern, wobei an Hand der dort eingetretenen Entwicklung noch auf verschiedene Gesichtspunkte allgemeiner Natur einzugehen sein wird.

Die für die Akkordbemessung maßgebende Bestimmung des Tarifvertrages der Magdeburgischen Metallindustrie lautet:

„Die Festsetzung der Stücklöhne erfolgt nach der Leistung eines Arbeiters der betreffenden Berufsgruppe von durchschnittlicher Leistungsfähigkeit. Die Stücklöhne sind so zu bemessen, daß der Durchschnitts-Stundenverdienst jeder Arbeitergruppe 15 vH über dem Tariflohn der betreffenden Arbeiter-Berufsart (Facharbeiter, angelernte Arbeiter, Hilfsarbeiter usw.) liegt."

Während der ersten 1½ Jahre der Rechnung mit Zeitakkorden bei der Firma R. Wolf A.-G. hatte sich zwischen Vorgabezeiten und tatsächlich gebrauchten Zeiten, die nach der ursprünglich gemachten Annahme annähernd übereinstimmen sollten, eine nicht unerhebliche Spanne herausgebildet, die im Durchschnitt rd. 20 vH, bei einzelnen Berufsgruppen noch erheblich mehr betrug. Anläßlich der endgültigen Ausdehnung der Zeitvorgabe auf sämtliche Magdeburger Betriebe der Firma hatte sich deshalb — insbesondere auch mit Rücksicht auf die Zeitbemessung für neue Akkorde — eine Neuregelung auf der ganzen Linie als notwendig erwiesen. Es wurde infolgedessen mit der Arbeiterschaft die Vereinbarung getroffen, die Umrechnung der Zeiten durchweg derart vorzunehmen, daß die neuen Vorgabezeiten 10 vH über denjenigen liegen sollten, welche nach der Leistungsfähigkeit eines Durchschnittsarbeiters bei normalem Fleiß zu erwarten wären, d. h. also, daß das Verhältnis zwischen Vorgabezeit und tatsächlich gebraucher Zeit zu 1,1 sich ergeben sollte. Diese Vereinbarung würde den im Beispiel 4 der Zahlentafel 1 wiedergegebenen Werten entsprechen, wonach für alle 10 vH unter dem Durchschnitt liegenden Arbeiter die Möglichkeit gegeben ist, mit ihrem Durchschnitts-Stundenverdienst die Akkordgrundlage zu erreichen.

Soweit der Zeitakkord schon durchgeführt war, sollte bei dieser Umrechnung die tatsächlich erreichte Verdienstmöglichkeit eine Beeinträchtigung nicht erleiden, d. h. also, die neuen Akkordgrundlagen mußten etwa im gleichen Verhältnis erhöht werden, wie gemäß der Umrechnung eine Verminderung der Vorgabezeit eintrat.

Aus diesen grundsätzlichen Festlegungen ergab sich alles Weitere, nicht nur für die Umrechnung der bereits vorliegenden Zeitakkorde, sondern auch für die der bisher noch in Gültigkeit gewesenen Geldakkorde und für die einheitliche Festlegung des Geldwertes für die Vorgabezeit-Einheit, d. h. für die Akkordgrundlage, sowie endlich für die Bemessung der Zeiten für neue Akkorde.

Soweit zur Zeit dieser allgemeinen Umstellung noch Geldakkorde vorlagen, wurde unter Berücksichtigung der schon vorhandenen Zeitfestlegungen und unter dem Vorbehalt späterer Nachprüfung die Umrechnung vorstehender Vereinbarung entsprechend im wesentlichen in der Weise vorgenommen, daß die Geldakkorde, die zur Zeit der Umrechnung galten, durch die zu derselben Zeit erzielten Berufsgruppenverdienste dividiert und auf die so errechneten Werte der Vereinbarung gemäß 10 vH zugeschlagen wurden.

Dazu ist zu bemerken, daß die letzte Umrechnung bereits vor etwa 2 Jahren erfolgte, also zu einer Zeit, wo immerhin noch verhältnismäßig stabile Verhältnisse vorlagen und die Tarifperioden sich auf Zeiträume von rd. ¼ Jahr erstreckten, so daß damals noch ausreichend sichere Unterlagen über die in die Rechnung einzusetzenden Durchschnittsverdienste zur Verfügung standen. Immerhin waren, wie das bei derartigen Umrechnungen meist der Fall zu sein pflegt, sowohl bei der Umwertung der bereits bestehenden Zeitakkorde, als auch bei der Umstellung der noch bestehenden Geldakkorde auf Zeit gewisse Ausgleiche nicht zu umgehen, so daß sich als Ergebnis der gesamten Umrechnung das Verhältnis zwischen vorgegebener und tatsächlich gebrauchter Zeit etwas höher als zu 1,1, wie vorgesehen, nämlich zu etwa 1,133 ergab.

Da aber auf der Hand lag, daß diese Änderung der Verhältniszahl nicht auf eingetretene Leistungssteigerung zurückzuführen war, so lag auch keine Veranlassung vor, nach erfolgter Beendigung der Umrechnung für die Errechnung der Akkordgrundlagen die Verhältniszahl 1,1 weiter zu benutzen. Vielmehr wurde diese nunmehr mit der tatsächlich sich ergebenden Verhältniszahl von rd. 1,13 durchgeführt. Dem mußte dann natürlich auch bei der Festsetzung der Vorgabezeit für neue Akkorde Rechnung getragen werden, worauf noch zurückzukommen sein wird.

Im Zusammenhang damit taucht beim Zeitakkord überhaupt die Frage auf, wie die Regelung erfolgen soll, wenn das Verhältnis zwischen Vorgabezeit und Gebrauchzeit, das in Wirklichkeit sich einstellt, von dem der Vorausberechnung zugrunde gelegten abweicht.

Das ist natürlich eine Frage, die für den einzelnen Betrieb sowohl, als auch tarifpolitisch von größter Bedeutung ist.

Um darin klar zu sehen, muß man sich zunächst die Möglichkeiten vergegenwärtigen, durch die sich der Zeitverbrauch niedriger ergeben kann, als vorgesehen. Diese Möglichkeiten sind von dreierlei Art.

Geringerer Zeitverbrauch kann eintreten durch höhere, den Durchschnitt überschreitende Leistung. Er kann aber auch die Folge sein von unrichtiger Zeitbemessung, oder er kann bedingt sein durch die Wirkung der Verbesserung von Betriebseinrichtungen, der Materialbereitstellung oder dergl.

Würde dieser durchschnittliche Minderverbrauch an Zeit und der dadurch bedingte Mehrverdienst ganzer Gruppen an Geld ausschließlich auf höhere Leistung zurückzuführen sein, so müßte er auch voll anerkannt werden, und es hieße der Akkordarbeit einen schlechten Dienst erweisen, ihn zu beschneiden. In gleicher Weise darf ja auch die Verdienstmöglichkeit des einzelnen Mannes bei der Akkordarbeit nicht beschnitten werden, wenn nicht das Wesen der letzteren, der Anreiz zu dem in beiderseitigem Interesse liegenden Minderverbrauch an Zeit gegenüber der Vorgabezeit zerstört werden soll. Aus diesem Grunde besteht ja auch der bereits erwähnte Grundsatz, an einmal festgelegten Zeiten nichts zu ändern, solange die Arbeitsverfahren und die Hilfsmittel für die Durchführung der Arbeit nicht geändert werden. Daß im letzteren Fall, d. h. bei Änderung der Arbeitsverfahren, auch Zeitänderungen eintreten müssen, ist selbstverständlich. Außerdem darf dieser Grundsatz aber vom Standpunkt der Erzielung möglichst hoher Leistungen aus auch nicht binden, Richtigstellungen dann vorzunehmen, wenn sich herausstellt, daß bei der Zeitfestsetzung für ein Stück Fehler gemacht wurden und die Herstellung des Stückes sich wiederholt. Solche Richtigstellungen werden dann aber zweckmäßig gleichfalls durch andere Arbeitsunterteilung, andere Art der Bearbeitung und dergl. vorgenommen. Da der Zweck der Zeitvorausbestimmung darin besteht, Leistungen in den Grenzen des Möglichen sicherzustellen und zu deren Steigerung anzureizen, so ist auch eine dauernde Zeitenprüfung notwendig. In einem richtig arbeitenden Vorkalkulationsbüro werden deshalb darauf hinzielende Arbeiten ständig im Gange sein.

Nun muß man sich aber darüber klar sein, daß in einem gut geleiteten Betrieb dauernd Änderungen und Verbesserungen kleinerer Art durchgeführt werden, die Erleichterungen für die Arbeit bringen und Zeitersparnisse zur Folge haben, ohne daß man diesen Einzel-Einflüssen praktisch Rechnung tragen und alle Akkordzeiten sogleich ändern kann. Da aber derartige Einflüsse in ihrer Gesamtheit recht merklich wirken können, besonders in Zeiten allgemeiner Umstellung, wie wir sie in den letzten Jahren

Zahlentafel 2 und 3. Verhältniszahlen zur Errechnung der Akkordgrundlagen.

Berufsgruppe	a		b		c		d		e			f		
	Für die Umrechnung von Geld auf Zeit benutzte Verhältniszahl		Nach Umrechnung tatsächlich eingetretene Verhältniszahl		Inzwischen weiter geänderte Verhältniszahl zur Errechnung der Akkordgrundlage		Tatsächlich erreichte Durchschnittsverhältniszahl der Vorgabe- zur gebrauchten Zeit		Zu erwartender Überverdienst gegenüber dem tariflich festgelegten Akkorddurchschnitt		Zu erwartender Überverdienst gegenüber dem tariflich festgelegten Zeitlohn	Entsprechender Überverdienst, der eingetreten wäre bei Belassung der Zahlen nach a zur Errechnung der Akkordgrundlagen		
									$d-c$	$\frac{d-c}{c}\cdot 100$	$1{,}15\,\frac{d-c}{c}\cdot 100$	$d-a$	$\frac{d-a}{a}\cdot 100$	$1{,}15\,\frac{d-a}{a}\cdot 100$
	min	Std.	min	Std.	min	Std.	min	Std.	min	vH	vH	min	vH	vH
Facharbeiter	66	1,100	68	1,133	69,5	1,158	70,9	1,181	1,4	1,9	17,2	4,9	7,4	23,5
Schmiede- und Kesselschmiede	66	1,100	69,6	1,160	70,2	1,170	71,5	1,191	1,3	1,8	17,1	5,5	8,3	24,6
Maschinenarbeiter	66	1,100	68	1,133	68,6	1,143	69,9	1,165	1,3	1,9	17,2	3,9	5,9	21,8

hatten, außerdem auch die beste Vorausberechnung nicht von Fehlern und Irrtümern frei ist, so halte ich es für notwendig, um nicht durch fortwährende kleinere Zeitänderungen dauernd Unruhe in den Betrieb zu bringen, eine Möglichkeit zu schaffen, solchen kleinen Einflüssen ohne Zeitänderung Rechnung zu tragen.

Dazu bietet der Zeitakkord ohne weiteres die Möglichkeit. In solchen Fällen liegen ja die Verhältnisse so, daß teils infolge eingetretener Betriebsverbesserungen, teils infolge unrichtig vorgenommener Zeitbemessung, nicht aber infolge von Leistungssteigerung, die reinen Arbeitzeiten geringer, als ursprünglich angenommen, sich ergeben, oder, da die Vorgabezeit unverändert bleibt, die tatsächlichen Verlustzeiten größer ausfallen, als vorgesehen. Man kann also den geänderten Verhältnissen ohne weiteres dadurch Rechnung tragen, daß man unter Belassung der Vorgabezeiten die Akkordgrundlage gemäß der tatsächlich sich ergebenden größeren Verhältniszahl zwischen Vorgabezeit und Gebrauchzeit kleiner festlegt, als sie sich mit der ursprünglich angenommenen Zahl ergeben haben würde. Natürlich muß dies dann auch bei der Zeitvorgabe für neue Akkorde bei Einrechnung der Verlustzeiten berücksichtigt werden. Das hat dann auch für die Nachkalkulation, wenn diese in Vorgabezeiten durchgeführt wird, den Vorteil, daß öftere Zeitänderungen, die in diesem Fall auf der ganzen Linie stattzufinden hätten, unterbleiben können. Wie diese Verhältnisse bei der Firma R. Wolf A.-G. sich gestaltet haben, zeigen die beiden Zahlentafeln 2 und 3. Da man sich zur

Zahlentafel 3.

Berufsgruppe	g	h	i	k	l	
	Tariflicher Zeitlohn	Tariflicher Akkorddurchschnitt	Akkordgrundlage (R. Wolf A.-G.)	Tatsächlich zu erwartender Akkorddurchschn.	Tatsächlich zu erwartender Überverdienst	
		$g + 15$ vH	$\frac{h}{c}$	$d \cdot i$	$k-h$	$\frac{k-h}{h}\cdot 100$
	M	M	M	M	M	vH
Facharbeiter	52 800	60 720	52 435	61 926	1206	1,9
Schmiede und Kesselschmiede	55 300	63 595	54 354	64 735	1140	1,8
Maschinenarbeiter	51 300	58 995	51 614	60 130	1135	1,9

Zeit der Einführung des Zeitakkordes in einer Periode der Umstellung befand, in der klar vor Augen lag, daß die Zunahme des Verhältnisses zwischen Vorgabe- und Gebrauchzeit nur zum Teil durch eingetretene Leistungssteigerung, zum Teil dagegen zweifelsohne durch Betriebsverbesserungen hervorgerufen war, so einigte man sich längere Zeit hindurch dahin, daß die Verhältniszahl zur Berechnung der Akkordgrundlage jeweils ¼ Jahr lang unverändert blieb, während für das folgende Vierteljahr das Mittel zwischen der bisher benutzten und der im gleichen Zeitraum neu sich ergebenden Verhältniszahl zur Errechnung verwendet wurde, mit andern Worten, die eingetretene Zeitverminderung wurde zur Hälfte der Arbeiterschaft und zur Hälfte dem Werk angerechnet dadurch, daß die Vorgabezeiten zwar unverändert blieben, die Akkordgrundlage aber durch Division mit einer entsprechend größer angesetzten Verhältniszahl in die nach dem Tarif sich ergebende Durchschnittsverdienstzahl ermittelt wurde. Etwa seit Anfang 1923 hat allerdings eine solche Änderung nicht mehr stattgefunden, der Vorbehalt einer Wiedervornahme im Bedarfsfall blieb jedoch bestehen.

Auf diese Weise wurde erreicht, den Anreiz nicht nur für den einzelnen Mann, sondern auch für die ganze Berufsgruppe aufrechtzuerhalten, ohne den Rahmen der tariflich festgelegten Durchschnittsverdiensthöhe unzulässig zu überschreiten, und es wird den vorstehend erörterten Rücksichten Rechnung getragen, ohne daß dauernd Akkordzeitänderungen vorgenommen werden müssen, aber auch ohne daß den berechtigten Ansprüchen der Arbeiterschaft Abbruch getan wird.

Ich erwähne dazu, daß eine solche Regelung bei der Festlegung der Akkordgrundlagen im Tarifvertrag, wie sie heute üblich ist, sich natürlich nicht durchführen ließe, während anderseits immer damit zu rechnen sein wird, daß solche Regelungen vorgenommen werden müssen. Es ist also auch hieraus klar ersichtlich, daß, wenn der zu solchen Umrechnungen erforderliche Spielraum geschaffen und dem einzelnen Betrieb die Möglichkeit gegeben werden soll, sich den Verhältnissen zweckentsprechend anzupassen, entweder die Festlegung von Richtwerten für die Durchschnittsverdienste im Tarifvertrag erfolgen muß, oder die Festlegung der Akkordgrundlage derart, daß angegeben wird, welcher Prozentsatz an Verlustzeit dabei für die Einrechnung in die Vorgabezeit vorgesehen ist, und daß außerdem die Möglichkeit offen gelassen wird, die Akkordgrundlage bei Wahl anderer Verlustzeiten entsprechend umzurechnen.

Hinzufügen will ich noch, daß ein Vorgehen in der bei R. Wolf gewählten Art natürlich die Führung einer gut arbeitenden Statistik zur Voraussetzung hat, und zwar so, daß sich aus ihr nicht nur für den einzelnen Arbeiter, sondern auch für die verschiedenen in Frage kommenden Berufsgruppen die durchschnittlichen Verdiensthöhen in Vorgabeminuten ausgedrückt und damit die Verhältniszahlen zwischen Vorgabezeiten und tatsächlich gebrauchten Zeiten für bestimmte, dem Bedarf entsprechende Zeitabschnitte (z. Zt. ¼ Jahr) zwangläufig ergeben. Diese Statistik ist aber nichts anderes, als die in gut geleiteten Betrieben immer schon geführte Verdienststatistik, bedeutet also keinerlei Mehrarbeit. Sie bietet in dieser Form jedoch einen sehr guten Maßstab für die Leistungsfähigkeit, weshalb man die aus ihr sich ergebenden Verhältniszahlen auch als Leistungsfaktoren bezeichnen kann. Es sind dies Zahlen, die für die Betriebsführung von ganz besonderem Wert sind, und aus deren dauernder Verfolgung sich wichtige Schlüsse ziehen lassen. Eine in dieser Art geführte Statistik trägt also wesentlich zur Herbeiführung durchsichtiger Verhältnisse auf diesem wichtigen Gebiete bei.

Sie bietet insbesondere der Vorkalkulation das Mittel, durch dauernde Vergleiche der zwischen Vorgabe- und Gebrauchzeit sich einstellenden tatsächlichen Spanne mit der der Vorausberechnung zugrunde gelegten, in ihrer Zeitbemessung unter Benutzung des mehr und mehr sich ansammelnden Erfahrungsmaterials immer sicherer zu werden.

Ihre Hauptaufgabe ist es, festzustellen, ob die sich ergebenden Abweichungen der wirklich sich einstellenden Verhältniszahlen von den bei der Vorausberechnung zugrunde gelegten darauf zurückzuführen sind, daß die Leistungen gegenüber dem Durchschnitt gestiegen sind, oder daß unrichtige Zeitbemessung vorlag, sei es dadurch, daß die Leistungsfähigkeit unterschätzt wurde, oder sonstige Voraussetzungen nicht zutreffen, oder sei es, daß der Einfluß eingetretener Änderungen der Einrichtungen für die Herstellung selbst, oder für die Arbeits-Vorbereitung und -Bereitstellung nicht hinreichend berücksichtigt wurde.

(Schluß folgt.)

Beziehungen zwischen der chemischen und der mechanischen Industrie.

Von Reg.-Baumeister A. Krauß, Ludwigshafen a. Rh.

(Schluß von S. 5).

Förderanlagen.

Die Entladung, die Zufuhr, die Lagerung und Verteilung der gewaltigen Brennstoffmengen in den Kessel- und Generatoranlagen stellt an die Fördertechnik große Aufgaben. Bei der großen Ausdehnung der Fabriken haben die Hängebahnen mit Seilbahnbetrieb sich bestens bewährt. Sie entlasten vor allem die mit Gleisen belegten Fabrikstraßen und sind in der Linienführung nicht gebunden. Zur wirtschaftlichen Förderung der Rohprodukte, wie Steinsalz, Gips, Kalk, Schwefelkies usw., und der Fertigprodukte, wie Düngemittel verschiedener Art und Farbstoffe, müssen zweckentsprechende und die Eigenart der Erzeugnisse berücksichtigende Fördermittel gewählt werden. Abb. 10 zeigt einen Salzbagger in einem Düngesalzsilo für 100 t stündliche Leistung. Zur Entladung und Beladung der Schiffe und Eisenbahnwagen, Verladung von Säcken, Fässern, Kisten und dergleichen werden arbeitsparende Maschinen und Einrichtungen, wie sie von der hochentwickelten deutschen Fördertechnik geliefert werden, in reichem Maße angewendet. Beim Entwurf aller Förderanlagen für die chemische Industrie ist stets auf eine spätere Erhöhung der Förderleistung Rücksicht zu nehmen, da im Laufe der Jahre die Erzeugung auf derselben Grundfläche durch Verbesserung der Betriebe in der Regel erhöht wird. Es sind deshalb alle Teile von vornherein kräftig und reichlich zu bemessen, damit die Arbeitsgeschwindigkeiten später erhöht werden können und der Verschleiß auf ein erträgliches Maß beschränkt wird. Wenn uns auch heute eine große Anzahl gut durchgebildeter Fördermittel zur Verfügung steht, so bestehen immerhin noch Schwierigkeiten bei der Förderung von staubigen Produkten, welche die Fördermittel stark verschleißen und das Bedienungspersonal durch ihre ätzende Wirkung auf die Schleimhäute belästigen. Die für diese Zwecke angewendete Druckluftförderung hat im Vergleich zu andern Fördermitteln einen geringen Wirkungsgrad, und es wäre gerade für dieses System in der chemischen Industrie eine außerordentlich große Verwendungsmöglichkeit gegeben. Es wird heute nur dann benutzt, wenn die hygienischen Forderungen ausschlaggebend sind.

Die elektrischen Aufzüge, die in Warenhäusern, Hotels usw. die hydraulischen Aufzüge nahezu vollkommen verdängt haben, haben sich erst in den letzten Jahren mühsam in der chemischen Industrie eingeführt. Die Schalter, Anlasser, Kontakte usw., die sich in andern Betrieben gut bewährt haben, versagten in der säure-, ammoniak- und staubhaltigen Luft durchaus ihren Dienst. Mit vieler Mühe mußten neue Konstruktionen gesucht werden, die dem angestrengten Dauerbetrieb gewachsen sind.

Einrichtungen zum Destillieren, Trocknen, Verdampfen usw.

Die Umwandlung der Brennstoffheizwerte in Dampfwärme im Kesselhaus und der Dampfwärme in Energie in Kraftmaschinen hat heute schon eine solche Vollkommenheit erreicht, daß man wesentliche Fortschritte hinsichtlich Wärmeersparnis nur noch durch weitere Steigerung des Dampfdruckes auf 60 at und mehr erwarten kann. Ich zweifle nicht, daß die Höchstdruckdampfmaschine als Gegendruckmaschine in der chemischen Industrie sich mit Erfolg einführen wird.

Im Gegensatz zur Energieerzeugung haben die Arbeitsverfahren zur Ausnutzung des Dampfes beim Destillieren, Extrahieren, Verdampfen, Trocknen usw. verhältnismäßig wenig Fortschritte aufzuweisen. Die oft vertretene Anschauung, daß der Dampfverbrauch in solchen Apparaten heute für uns nicht mehr von so großer Bedeutung sei, weil der Dampf schon vorher zur Krafterzeugung verwendet worden ist, muß vom Standpunkt der Wärmeersparnis unbedingt bekämpft werden.

Die fraktionierte Destillation zur Trennung einer Flüssigkeit in ihre Bestandteile erfolgt bekanntlich dadurch, daß die zu fraktionierende Flüssigkeit in einer Blase durch Dampfzufuhr zum Sieden gebracht wird. Die aus der Blase aufsteigenden Dämpfe werden in einer auf dieser sitzenden Kolonne durch die aus einem Rückflußkühler zurücklaufenden Kondensate gewaschen. Die höher siedenden Teile werden kondensiert, fließen in die Blase zurück und werden wieder verdampft. Diese mehrfache Verdampfung und Kondensation bedingt einen schlechten wärmetechnischen Wirkungsgrad. Der Chemiker nimmt heute den schlechten Wirkungsgrad in den Kauf, da dieses Destillationsverfahren das einzige Verfahren ist, das eine sehr scharfe Trennung der Flüssigkeit in ihre Bestandteile ermöglicht.

Bei dem in den chemischen Fabriken üblichen Gegendruck von 5 bis 6 at können nur solche Flüssigkeiten mit Gegendruckdampf destilliert werden, deren Siedepunkte unterhalb der Dampftemperatur des Gegendruckdampfes liegen. Sollen höher siedende Flüssigkeiten destilliert werden, dann wird unmittelbares Feuer, Hochdruckdampf oder Heißwasser benutzt. Den Betrieb mit unmittelbarem Feuer wird man nur noch in alten Anlagen finden. Bei Neuanlagen wird wegen der bei der Destillation von brennbaren Flüssigkeiten bestehenden Feuergefahr das offene Feuer allgemein vermieden. In Sonderfällen hat man schon vor dreißig Jahren mit 30 at destilliert, als man im Dampfmaschinen- und Dampfturbinenbau höchstens mit 14 bis 16 at arbeitete. Die schmiedeisernen Schlangen, in denen der Dampf erzeugt wurde, waren so aufgestellt, daß das Kondensationswasser aus dem Heizraum in die Schlangen zurückläuft. Zur Destillation bestimmter Erdöl- und Teererzeugnisse müssen Temperaturen bis 320° angewendet werden, d. h. Dampfspannungen von über 100 at.



Abb. 11. Werkstätte der Betriebskontrolle in Oppau.

In Ermangelung derartiger Kessel verwendet man gegenwärtig zum Destillieren von hochsiedenden Flüssigkeiten Heißwasser, das in einem geschlossenen Röhrensystem unter dem Einfluß der Schwerkraft umläuft. Die Heizschlangen, welche die Wärme des Heißwassers an die zu destillierende Flüssigkeit übertragen, sind nach Frederking in die Wandungen des Destillationsgefäßes eingegossen, oder sie liegen unmittelbar in der zu destillierenden Flüssigkeit. Der erforderliche Wasserdruck von 300 at bedingt starkwandige Rohre, die sich für enggewundene Schlangen nicht eignen. Man ist daher nicht in der Lage, in den Destillationsblasen größere Heizflächen unterzubringen, und muß bei großen Destillationsanlagen zahlreiche kleine Destillationsblasen aufstellen. Um eine größere Wärmeleistung durch Erhöhung der Wassergeschwindigkeit zu erzielen, schaltet man deshalb bei größeren Anlagen zwischen Destillationsgefäß und Kessel eine Umlaufpumpe ein. Der Heißwasserbetrieb verdient bei kleinen Anlagen gegenüber dem Betrieb mit unmittelbarem Feuer zweifellos den Vorzug. Wenn es sich jedoch darum handelt, stündlich mehrere Millionen Wärmeeinheiten zum Destillieren einer Flüssigkeitsmenge aufzuwenden, dann entstehen auch bei der Warmwasserheizung Schwierigkeiten. Die Heizfläche ist bei dem verhältnismäßig niedrigen Temperaturgefäll und schlechten Wärmeübergangsverhältnissen nur sehr schwer unterzubringen. Auch die Umlaufpumpen bieten bei diesen Verhältnissen Schwierigkeiten. Ein Rohrbruch ist bei einer solch großen Anlage nicht unbedenklich, da mehrere Kubikmeter Wasser von 300 at und 300° plötzlich entspannt werden und zuverlässig arbeitende Hochdruckventile für diese Verhältnisse noch nicht konstruiert sind. Für große Destillationsanlagen wären daher betriebsichere Dampfkessel von 100 at Betriebsdruck erwünscht.

Auf das Extraktionsverfahren will ich mich nicht näher einlassen, da die Verarbeitung von Farbhölzern für die deutsche

Farbstoffindustrie keine Bedeutung mehr hat. Das Verfahren, das ebenfalls mit großem Wärmeaufwand arbeitet, wird heute hauptsächlich in der Gerbstoffindustrie angewendet.

Außerordentlich große Wärmeverbraucher sind die Trockenanlagen. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen ist in der Regel rückständig. Der Konstrukteur und der Wärmeingenieur können diese Anlagen aber nur verbessern, wenn sie mit den Bedingungen, unter denen getrocknet werden muß, genau bekannt sind. Von dem zu trocknenden Gut ist zu verlangen, daß die anhaftende Flüssigkeit durch vorgeschaltete Apparate wie Zentrifugen, Filterpressen, Schraubenpressen usw. soweit wie möglich mechanisch entfernt wird und daß nur die restliche Feuchtigkeit durch Wärmezufuhr in Dampfform beseitigt wird. Die meisten Trockner werden heute mit Feuergasen oder Dampf betrieben, und nur in einigen Fällen wird Warmwasser als Wärmeträger verwendet, obgleich in jedem chemischen Betriebe Warmwasser in überschüssiger Menge vorhanden ist. Der Ausnutzung dieser Abfallwärme sollte gerade für Trocknungszwecke mehr Aufmerksamkeit als bisher geschenkt werden, wobei zu beachten ist, daß eine möglichst große Leistungsfähigkeit der Apparate erzielt wird. Die Verwendung der Abfallwärme spielt vor allem bei solchen Abfallprodukten eine Rolle, die zum Trocknen die hohen Spesen der Dampfwärme oder des unmittelbaren Feuers nicht ertragen können. So bildet z. B. der Kalk vielfach ein lästiges Abfallprodukt, der an die Landwirtschaft als Düngekalk abgesetzt werden könnte, wenn eine wirtschaftliche Trocknung möglich wäre. Ein leistungsfähiger mit Abfallwärme betriebener Kalkschlammtrockner wird in der chemischen Industrie einen guten Absatz finden.

Zum Entwurf eines Trockenapparates und einer ganzen Trockenanlage müssen die physikalischen Eigenschaften der zu trocknenden Rohstoffe, Zwischen- oder Fertigerzeugnisse bekannt sein. Vor allem muß die höchste Temperatur, mit der gearbeitet werden darf, ohne daß das Gut Schaden erleidet, bekannt sein. Von einer vollkommenen Trockenanlage muß verlangt werden, daß sie mit dem kleinsten Wärmeaufwand arbeitet, geringe Bedienungskosten erfordert, daß die Temperatur genau geregelt werden kann und daß ein in allen Teilen gleichmäßig trocknes Gut erzeugt werden kann. Die mit unmittelbaren Feuergasen oder mit erwärmter Luft geheizten Darren und Trockenkammern werden heute nur noch in wenigen Sonderfällen berechtigt sein. Die Trocknung mit diesen Apparaten ist ungleichmäßig, verlangt viel Bedienung und verbraucht viel Wärme. Eine Verbesserung dieser Apparate wird erreicht, indem man erwärmte Frischluft zudrückt, die, mit Wasserdampf gesättigt, die Kammer verläßt und indem man das zu trocknende Gut im Gegenstrom durch die Kammer führt. Das Gut wird auf fahrbare Horden oder auf bewegliche Bänder gebracht und diese langsam durch den Trockenofen bewegt.

Gegenüber dem Trockenofen mit bewegtem Gut muß die Trockentrommel als ein Fortschritt bezeichnet werden. Eine von innen oder außen, oder innen und außen geheizte zylindrische oder kegelförmige, in Drehung versetzte Trommel nimmt das Trockengut auf, das langsam die Trommel durchstreicht. Geeignete feste oder bewegliche Einbauten in die Trommel regeln die Geschwindigkeit des Materials.

Für Waren, die gegen Wärmeeinwirkung sehr empfindlich sind, wie die meisten Farb- oder Explosivstoffe, und für solche, die langsam getrocknet werden müssen, kommen Vakuumtrockenschränke zur Anwendung. Die aus zweckmäßigem Material hergestellten und mit dem Gut gefüllten Schalen liegen in dem guß- oder schmiedeisernen Schrank auf mit Dampf oder Wasser geheizten Heizkörpern. Durch Regulierung des Vakuums und der Dampfzufuhr kann jede beliebige Temperatur eingehalten werden. Die Trocknung erfolgt rasch und wirtschaftlich. Eine einfachere Überwachung des Trockenprozesses, oder die Möglichkeit einer Probenentnahme ohne Öffnung des Schrankes ist heute noch nicht gelöst. In Ermangelung einer solchen Einrichtung müssen die Schränke unter Abschaltung des Vakuums zur Probenentnahme geöffnet werden, was stets Mehrverbrauch an Wärme und Bedienung bedeutet. Eine derartige Möglichkeit der Probenentnahme sollte noch zu einer Vorrichtung ausgebaut werden, die von außen durch Hör- oder Lichtsignale erkennen läßt, ob das eingebrachte Material trocken ist. Von demselben Gesichtspunkte wäre eine Dosiervorrichtung zum Eintragen pastenartiger Stoffe in Trockenapparate bei Atmosphärendruck und Vakuum erwünscht.

Wenn es sich um dauernde Verarbeitung desselben Materials in größeren Mengen handelt, hat sich der Walzentrockner gut bewährt. Er wird als Ein- und Doppelwalzentrockner mit Atmosphärendruck und Vakuum gebaut. Die Beschickung der Walzen mit Farben, wie sie aus den Filterpressen anfallen, hängt von der Beschaffenheit des Farbkuchens ab. Durch zweckentsprechende Aufgabevorrichtungen könnte dieser Trockner noch verbessert werden.

Das in den letzten Jahren in der Nahrungsmittelindustrie eingeführte Krause-Trocknungsverfahren beruht auf einer außerordentlich feinen Zerstäubung des Materials durch eine von einer Dampfturbine angetriebene Zerstäuberscheibe und auf einer Zufuhr von Heißluft, die der Bewegung des zerstäubten Materials entgegengerichtet ist. Es erfolgt zunächst eine Verdampfung und dann sofort eine Trocknung, so daß das Gut trocken in sehr lockerer Form auf den mit einem Ausräumer versehenen Boden des Trockenturmes fällt. Der Wärmeverbrauch dieses Verfahrens ist jedoch noch heute im Vergleich mit Vakuumtrocknern hoch. Der stetige Betrieb, die geringen Bedienungskosten und die lockere Form des getrockneten Gutes bedeuten einen so großen Vorteil, daß eine Vervollkommnung des Verfahrens im Interesse der chemischen Industrie liegt.

Als nächster Großverbraucher für Niederdruckdampf sind die Eindampfereien zu erwähnen. Die Bedeutung und Wichtigkeit dieses Betriebes für die chemische Industrie geht schon daraus hervor, daß dieses Gebiet in den letzten Jahren wiederholt in dieser Zeitschrift behandelt worden ist. Ich kann mich daher wohl über diesen Punkt kurz fassen.

Für jede Eindampferei ist ein möglichst hohes Vakuum und eine möglichst vielfache Ausnutzung der aus den einzudampfenden Flüssigkeiten entwickelten Dämpfe anzustreben. Entsprechend der einfachen oder mehrfachen Wirkung der Brüdendämpfe entstehen die Ein-, Zwei- und Mehrkörperapparate. Das Temperaturgefälle zwischen Heizdampf und Siedetemperatur der Flüssigkeit beträgt 15 bis 30 °. Mit jeder Vermehrung der zu einem System vereinigten Heizkörper ist eine Wärmeersparnis verknüpft in der Weise, daß ein Fünfkörpersystem nur ein Fünftel der Dampfmenge gegenüber einem Einkörpersystem erfordert. Die Anzahl der zu einem System vereinigten Apparate hängt ab von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzudampfenden Flüssigkeiten, von den Anlagekosten und dem erforderlichen Wärmeaufwand.

Über die in der Nachkriegszeit wieder aufgenommene Kompressionsverdampfung ist in den letzten Jahren soviel geschrieben und gelegentlich der Versammlung der Wärmeingenieure gesprochen worden, daß ich mich mit dem Hinweis auf die entsprechende Literatur begnügen kann. Herr Professor Gensecke kommt in seiner Abhandlung vom 17. März dieses Jahres in dieser Zeitschrift[2]) zu dem Ergebnis, daß die Kompressionsverdampfung insbesondere dort in Betracht kommt, wo bestimmte Eindampftemperaturen eingehalten werden müssen, z. B. beim Eindampfen von Milch, Fruchtsäften und Gerbstoffen, und daß in Deutschland, wo die Energie in erster Linie durch Dampfkraft erzeugt wird und in der Regel der Niederdruckdampf schon Arbeit geleistet hat, die Vielfach-Verdampferanlagen den Kompressionsverdampfern überlegen sind. Eingehende vergleichende Untersuchungen, die wir für unsere großen Ammonsulfat-Eindampfereien durchgeführt haben, führten zu demselben Ergebnis.

Ein großes Gebiet für den Apparatebau sind die Einrichtungen zum Trennen fester Körper von Flüssigkeiten. Der bekannteste Apparat ist die Filterpresse, die für alle erdenklichen Einzelfälle gut durchgebildet ist. Alle Konstruktionen haben jedoch den gemeinschaftlichen Fehler, daß der Verbrauch an Filtertüchern durchweg sehr groß ist. Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn eine ohne Textilstoffe arbeitende Filterpresse auf den Markt gebracht würde. Die Verwendung der Zentrifugalkraft in der Zentrifuge zur Trennung von Flüssigkeiten und festen Stoffen ist ebenfalls bekannt. Eine Verbesserung der Zentrifugen ist anzustreben vor allem hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit. Der unstetige Betrieb, die einsatzweise Beschickung ist bei geringen Mengenleistungen wohl zweckmäßig und auch wirtschaftlich. Bei großen Anlagen ist der stetige durchlaufende Betrieb derart anzustreben, daß nicht nur das geschleuderte Erzeugnis selbsttätig ausgetragen wird, sondern auch, daß sich die Füllung selbsttätig vollzieht, damit die Bedienungskosten verringert werden.

Sollen breiige Massen in flüssige und feste Körper getrennt werden, so wird die mit Vakuum arbeitende Nutsche angewandt. Der gegen den Unterteil abgedichtete Oberteil nimmt die Masse auf und hält den festen Stoff zurück, während die Flüssigkeit, die Mutterlauge, in den unter Vakuum stehenden Unterteil abfließt. Durch mehrmaliges Aufgeben von Waschwasser kann ein vollkommen reines Enderzeugnis erhalten werden. Ein bedeutender Fortschritt in der Konstruktion von Vakuumfiltern wurde in den letzten Jahren dadurch erreicht, daß man die Nutschfläche um eine sich drehende Trommel legt, die sich selbsttätig derart steuert, daß die Mutterlauge und die Waschwässer getrennt aufgefangen und das Nutschprodukt stetig vom Trommelumfang abgetragen wird. Die meisten Konstruktionen zeigen jedoch noch Mängel in der Richtung, daß die scharfe Trennung zwischen Mutterlauge und Waschwasser mangelhaft ist. Sollten diese Mängel noch beseitigt werden und sollte eine Konstruktion ohne Filtertuch gelingen, so wäre einem empfindlichen Mangel abgeholfen.

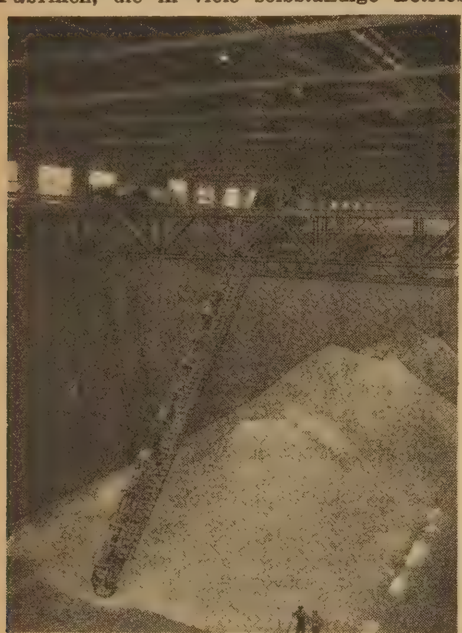
Die mechanische Trennung des Wassers aus schleimigen Produkten ist heute noch nicht gelöst, und es würde einem dringenden Bedürfnis abgeholfen werden, wenn eine entsprechende Konstruktion auf den Markt gebracht würde. Diese Produkte werden heute noch allgemein durch Wärmezufuhr in Trockenanlagen oder Eindampfereien aufbereitet.

Wenn die Salze im letzten Eindampfkörper ausfallen, so erfolgt ihre Trennung von der Mutterlauge, wie schon angegeben,

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 249.

durch Zentrifugen oder Nutschen. Vollzieht sich jedoch die Ausscheidung erst durch Abkühlung, so müssen Kristallisationsgefäße aufgestellt werden, in denen mit fortschreitender Kühlung die Ausscheidung vor sich geht. Solche Anlagen beanspruchen außerordentlich große Grundflächen, Anlagekapitalien und viele Bedienungskosten. Eine Verbesserung hat man durch gekühlte Schaukelrinnen oder durch Vakuumapparate erzielt. Bei kleinen Leistungen reichen diese Mittel vollkommen aus. Dagegen muß für große Leistungen ein stetig arbeitender Apparat gefunden werden, der ein grobkristallinisches, schleuder- oder nutschfähiges Erzeugnis liefert.

Eine wirtschaftliche Betriebsführung in unsern ausgedehnten Fabriken, die in viele selbständige Betriebe eingeteilt sind und die sich gegenseitig Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten und feste Produkte zur Weiterverarbeitung liefern, wäre nicht möglich, wenn nicht von einer unabhängigen Stelle aus diese Zwischen- und Fertigerzeugnisse gemessen würden und so Wirkungsgrad und Ausbeute eines jeden Einzelbetriebes bestimmt werden könnten. Diese Erkenntnis ist in unsern neuen Fabriken restlos durchgeführt. Die Durchführung dieser Betriebskontrolle wurde nur dadurch möglich, daß wir uns mit der Konstruktion und Herstellung der auf dem Markt nicht vorhandenen Meßapparate für hohe Drücke selbst befaßten. Für die Kontrolle über die richtige Zusammensetzung der zu verarbeitenden Gase waren selbsttätig arbeitende und registrierende Analysenapparate erforderlich, die ebenfalls ohne Vorbilder geschaffen werden mußten. Die besten Meßapparate versagen jedoch auf die Dauer, wenn sie nicht von kundiger Hand bedient und unterhalten werden. Diese laufende Überwachung und Unterhaltung gehört ebenfalls zu den Aufgaben der Betriebskontrolle, die im Oppauer Werk über eine Werkstätte, Abb. 11, S. 22, mit rd. 170 Handwerkern, Hilfshandwerkern und Tagelöhnern verfügt. Dieser Aufwand, der dem Fernstehenden vielleicht verschwenderisch erscheinen mag, ist bei der Umsetzung großer Rohstoffmengen für die Werkleitung unbedingt erforderlich.


Abb. 10. Salzbagger.

Wenn ich meine Ausführungen hier abschließen will, so bin ich mir bewußt, daß aus einer Reihe anderer nicht minder wichtiger Arbeitsverfahren, wie das Zerkleinern, Mahlen, Mischen, Klären, Schmelzen usw., bemerkenswerte Anregungen und Aufgaben zu stellen wären. Nur noch auf einen Punkt will ich hinweisen, der zeigen soll, wie eng die Interessen der chemischen Industrie mit denen der Maschinenindustrie verknüpft sind.

Zur Unterhaltung der umfangreichen Maschinenanlagen brauchen wir die Unterstützung der Maschinenindustrie, vor allem die unserer Lieferanten. Die Instandsetzung muß wegen des damit verbundenen Produktionsausfalles in kürzester Zeit erfolgen, und wir müssen uns daher, mehr als jede andere Industrie, für Ausbesserungen selbständig machen, da in Zeiten der Hochkonjunktur Ausbesserungsaufträge häufig nur mit Widerwillen in das Werkstättenprogramm der Maschinenfabriken eingereiht werden. Der Versand sperriger und schwerer Apparate würde uns außerdem große Ausgaben an Fracht auferlegen. Geheimzuhaltende Apparate, deren Konstruktion und Ausführung oft der Schlüssel zur Herstellung eines Produktes ist, werden in diesen Werkstätten von Grund aus hergestellt. So kommt es, daß die großen chemischen Fabriken umfangreiche Haupt- und Nebenwerkstätten besitzen, die an Leistungsfähigkeit und Größe selbst die unsrer Lieferanten übertreffen. In diesen mit besten Werkzeugmaschinen ausgerüsteten Werkstätten beschäftigen wir in den Fabriken Ludwigshafen und Oppau insgesamt 6600 Handwerker, Hilfshandwerker und Tagelöhner.

Der Ingenieur in der chemischen Industrie.

Zum Schluß noch einige Worte über die Stellung des Ingenieurs in der chemischen Industrie. Von Außenstehenden kann man häufig noch hören, daß ein tüchtiger, wissenschaftlich gebildeter, energischer, nach leitender und einflußreicher Stellung strebender Ingenieur in der chemischen Industrie keine Befriedigung seines Ehrgeizes und Anerkennung seiner Verdienste finden könne, weil der Chemiker ihm hindernd im Wege stehe und er sich stets dem Chemiker als Handlanger unterordnen müsse. Diese Anschauung war zutreffend zu einer Zeit, wo die chemische Industrie in der Hauptsache mit Rührbütten, Filterpressen und ähnlichen einfachen Apparaten ihre Produkte in kleinem Maßstabe hergestellt hat. Mit der Entwicklung zur Großindustrie waren Aufgaben zu lösen, die der Chemiker nur gemeinsam mit dem Ingenieur lösen konnte, und wenn heute noch an manchen Stellen Ingenieur und Chemiker sich nicht so aufeinander eingestellt haben, wie es im Interesse der Industrie erforderlich ist, so liegt der Fehler in der Regel auf beiden Seiten. Der Chemiker versteht es dann nicht, dem Ingenieur zu einer erfolgreichen Mitarbeit Anregungen zu geben oder aufzuklären, und der Ingenieur gibt sich dann nicht die Mühe, sich in die vom Chemiker gestellten Aufgaben zu vertiefen. So wird er dann allmählich der kritiklose Handlanger und nicht der gleichberechtigte, gesuchte und befruchtende Mitarbeiter des Chemikers. Diese Einstellung würde dem Ingenieur ohne Zweifel viel leichter, wenn die Technischen Hochschulen im Studienplan für Maschineningenieure der Chemie und vor allem der technischen Physik mehr Bedeutung beimäßen. Die vom Ingenieur in der chemischen Großindustrie zu lösenden Aufgaben sind außerordentlich vielseitig und interessant. Sie erfordern energische und wissenschaftlich gebildete Ingenieure, die das ganze Gebiet des Maschineningenieurwesens gründlich beherrschen. Nur mit solchen Ingenieuren wird es der deutschen chemischen Industrie gelingen, ihren Weltruf gegenüber dem Ausland zu retten, das nach dem verlorenen Krieg unter weit günstigeren Bedingungen als zuvor den Konkurrenzkampf mit ihr auf der ganzen Linie mit der größten Energie aufgenommen hat. [2096]

Blindstrombeseitigung bei Asynchronmotoren.

Das Sachsenwerk, Licht- und Kraft-A.-G., Niedersedlitz-Dresden, bringt seit kurzer Zeit einen Asynchronmotor auf den Markt, der mit einigen jedoch nicht besonders kostspieligen Zusatzteilen die Blindströme beseitigt. Dieser Motor unterscheidet sich von dem normalen Asynchronmotor dadurch, daß er keinen Magnetisierungsstrom aufnimmt. Der Magnetisierungsstrom wird im Motor selbst mit Hilfe einer kleinen im Läufer untergebrachten, aus wenig Windungen bestehenden Hilfswicklung erzeugt. Neben den normalen Schleifringen sitzt ein schmaler, mit der Hilfswicklung verbundener Kollektor. Der Strom wird dem Motor über die Schleifringe zugeführt, während an die Ständerwicklung ein normaler Anlasser angeschlossen ist. Abgesehen von der durch den Kollektor hervorgerufenen etwas größeren Länge in Richtung der Achse unterscheidet sich der neue Motor äußerlich nicht von den gewöhnlichen Asynchronmotoren.

Nach den Ergebnissen einer im Prüffeld des Sachsenwerkes vorgenommenen Abbremsung eines Motors für 7,5 kW Leistung bleibt im ganzen Bereich von Leerlauf bis Vollast $\cos\varphi = 1$. Bei der doppelten Leistung, 15 kW, ergab sich noch $\cos\varphi = 0{,}97$. Die Kollektorbürsten wurden hierbei nicht nachgestellt. Der Leerlaufstrom des neuen Motors betrug nur etwa 5 vH des Leerlaufstromes eines normalen Asynchronmotors. Der Wirkungsgrad war auch bei Teillasten praktisch derselbe wie bei einem normalen Motor. Da die an den Kollektorbürsten auftretende Spannung sehr gering ist, bei dem untersuchten Motor betrug sie 15 V zwischen zwei Bürsten, tritt praktisch Funkenbildung nicht auf.

Die durch diese Eigenschaften erzielte Verbesserung des Leistungsfaktors von Drehstromnetzen kann dadurch noch wirksamer gemacht werden, daß der neue Motor bei geeigneter Bürstenstellung Magnetisierungsstrom an das Netz liefert. Der Motor kann ohne Änderung der Bewicklung nur durch andre Einstellung der Bürsten bei Normallast mit voreilendem $\cos\varphi = 0{,}9$, bei Leerlauf mit $\cos\varphi = 0{,}2$ arbeiten. Nach den Prüffelduntersuchungen wurden etwa 60 vH Magnetisierungsstrom bei Leerlauf, 45 vH bei Vollast an das Netz geliefert. Der Verlauf der Kurve des Leistungsfaktors entsprach genau der eines Synchronmotors mit fest eingestellter Erregung. Der Motor hat aber im übrigen eine asynchrone Charakteristik, d. h. einen Drehzahlabfall bei Belastung, der etwa dem eines gewöhnlichen Asynchronmotors entspricht. Er ist also für Antriebe, die mit großen Schwungrädern ausgerüstet sind, wie sie besonders in der Landwirtschaft, im Kleingewerbe und im Fabrikbetrieb vorkommen, sehr geeignet.

Die Überlastbarkeit des neuen Motors ist noch größer als die eines gewöhnlichen Asynchronmotors. Das Kippmoment ist das 2,5- bis 3fache des normalen Drehmoments. Der Leistungsfaktor bleibt bei Abweichungen bis zu 20 vH nach oben und unten von der Nennspannung der gleiche. Der Motor kann mit vollem Drehmoment von einem normalen Anlasser angelassen werden.

Die Leistungsgrenzen für die Ausführung liegen noch nicht fest; sie bewegen sich etwa zwischen 1,5 und mehreren hundert Kilowatt. Die Leistungen und Spannungen sind dadurch begrenzt, daß der Läufer als erster Teil an der Netzspannung liegt. Bei Spannungen über 1000 V müßte daher ein Transformator vorgeschaltet werden. Der Preis ist um 15 bis 20 vH höher als der eines normalen Motors. [M 2053] Sd.

Geradliniges Wasserdampf-Diagramm für Normal- und Hochdruckgebiet.

Von M. Seiliger.

Es wird auf Grund der Callendar-Mollierschen Formeln für Wasserdampf ein neues Diagramm entworfen, in welchem von den sechs Hauptzustandsänderungen fünf geradlinig verlaufen. Es werden ferner auf Grund der Münchener Versuche annähernde Formeln für das Hochdruckgebiet (bis 60 at) vorgeschlagen und das Diagramm für dieses Gebiet verlängert.

In der Wärmelehre haben wir es meist mit Funktionen von drei Veränderlichen zu tun, wovon zwei unabhängig sind. Solche Funktionen werden graphisch zweckmäßig entweder durch netzförmige Diagramme oder durch Nomogramme dargestellt. Im netzförmigen Diagramm, das in der Wärmelehre große Verbreitung gefunden hat, entspricht jedem Zustand ein Punkt, im Nomogramm dagegen jedem Zustand eine Gerade.

In den ältesten netzförmigen Dampfdiagrammen sind je zwei von den drei Hauptzustandsgrößen: Druck, Volumen und Temperatur (p, v, T), als Koordinaten gegeben; später hat man auch die abgeleiteten Zustandsgrößen: Entropie (S) und Wärmeinhalt (I), als Koordinaten eingeführt. Von solchen Diagrammen seien genannt: das S-T-(Entropie-Temperatur-)Diagramm nach Gibbs-Stodola, das Molliersche I-S-(Wärmeinhalt-Entropie-)Diagramm, das Förstersche T-I-(Temperatur-Wärmeinhalt-)Diagramm, das Molliersche I-p-(Wärmeinhalt-Druck-)Diagramm, das Morrowsche I-v-(Wärmeinhalt-Volumen-)Diagramm usw. Damit ist aber die Entwickelung der Dampfdiagramme nicht erschöpft; zur besseren Übersichtlichkeit wurden sogar einige Funktionen der abgeleiteten Zustandsgrößen als Koordinaten gewählt. So haben z. B. Callendar und Knoblauch eine I-log p-(Wärmeinhalt-log Druck-)Tafel entworfen. In allen diesen Diagrammen verlaufen aber nur zwei der wichtigsten Zustandsänderungen geradlinig, die andern dagegen krummlinig. Thomson[1]) hat sich die weitere Aufgabe gestellt, ein Wasserdampf-Nomogramm zu entwerfen; dazu braucht man ein Diagramm, worin mehrere Zustandsänderungen geradlinig verlaufen. Er hat als Koordinaten log $(I-464)$ und log p gewählt; in diesem System verlaufen nicht nur Drosselkurven und Isobaren, sondern auch Isentropen und Isochoren (im Überhitzungsgebiet) gerade, dagegen sind die Linien gleichen Dampfgehalts und die Isochoren im Naßdampfgebiet krumm. Nachstehend wird ein neues System angegeben, worin auch diese Zustandsänderungen geradlinig verlaufen.

In meiner Arbeit: „Graphische Thermodynamik und Berechnen der Verbrennungsmaschinen und Turbinen"[2]) habe ich gezeigt, daß man im logarithmischen Druck-Volumen-System alle technisch wichtigen Zustandsänderungen der Gase geradlinig darstellen kann. Es ist merkwürdig, daß auch für Wasserdampf das einfache logarithmische Druck-Volumen-Koordinatensystem fast alle wichtigen Zustandsänderungen geradlinig darzustellen ermöglicht.

Als Grundformeln sollen die allgemein bekannten dienen; zum Auswerten der Temperatur und der inneren Energie werden die Callendar-Mollier-Gleichungen[3]) benutzt:

$$v - v' = 47 \frac{T}{P} - \mathfrak{B} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (a)$$

$$U = 564 + 0{,}367\, t - \frac{10}{3} A \mathfrak{B} P \quad \ldots \ldots \ldots \quad (b),$$

woraus durch Eliminierung von $\mathfrak{B}$

$$U = 464 + 78{,}1\, p\,(v - v') \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (c)$$

und ferner

$$I = U + A\, p\,(v - v') = 464 + 101{,}5\, p\,(v - v') \quad \ldots \ldots \quad (d).$$

Die letztere Formel wird von Callendar wie folgt angegeben:

$$\frac{I - 464}{101{,}5} = p\,(v - v') \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (e)^{4)}.$$

Wenn hier den Callendarschen Gleichungen gegenüber der neuen, ohne Zweifel genaueren Gleichungen der Vorzug gegeben wird, so geschieht es deshalb, weil die Callendarschen Gleichungen nicht nur in England und Amerika, sondern, dank den Arbeiten von Mollier, auch in Deutschland eingeführt und in das weltbekannte Taschenbuch „Hütte" aufgenommen sind. Es empfiehlt sich, in erster Linie die eingeführten Formeln zu benutzen, sofern sie zu praktisch richtigen Werten führen und mit der Theorie nicht im Widerspruch stehen, zumal wenn diese Formeln einfacher sind.

Wir fassen nun alle Formeln zusammen:

Überhitzungsgebiet.

$$v - v' = 0{,}0047 \frac{T}{p} - 0{,}075 \left(\frac{273}{T}\right)^{10/3} \quad \ldots \quad \text{I (Temperatur)}$$

$$\frac{I - 464}{101{,}5} = p\,(v - v') \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{II (Wärmeinhalt bei konst. Druck)}$$

$$\frac{U - 464}{78{,}1} = p\,(v - v') \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{IIa (Innere Energie)}$$

$$p\,(v - v')^{1,3} = \text{Konst.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{III (Adiabate-Isentrope)}$$

Sättigungskurve.

$$p_s^{15/16}\,(v_s - v') = 1{,}7235 \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{IV}$$

Naßdampfgebiet.

$$(v_x - v') = x\,(v_s - v') \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{V (Volumen)}$$

$$p^{15/16}\,(v_x - v') = 1{,}7235\, x \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{VI (Unveränderlicher Dampfgehalt)}$$

$$I_x = x\, I_s + (1 - x)\, t_s \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{VII (Wärmeinhalt)}$$

$$p\,(v_x - v')^{1{,}035 + 0{,}1\, x} = \text{Konst.} \quad \ldots \quad \text{VIII (Adiabate)}$$

Es bedeuten hier:

p den Druck in kg/qcm,
v das Dampfvolumen in m^3/kg, v' das Flüssigkeitsvolumen in m^3/kg,
T die absolute Temperatur,
t die Temperatur in ° C,
I den Wärmeinhalt bei gleichbleibendem Druck in kcal/kg,
x den Dampfgehalt (kg Dampf in 1 kg Gemisch).

Nachdem wir sämtliche Formeln festgestellt haben, wählen wir ein Koordinatensystem mit log p und log $(v - v')$ als Ordinaten.

Isochore, Isobare. In diesem Koordinatensystem verlaufen die Zustandsänderungen für gleichbleibenden Druck (Isobaren) und für gleichbleibendes Volumen (Isochoren) geradlinig, und zwar den Koordinatenachsen parallel.

Drosselgerade. Bei Drosselung bleibt, wie bekannt, der Wärmeinhalt für gleichbleibenden Druck I unveränderlich.

Aus Formel II erhalten wir:

$$\log p + \log\,(v - v') = \log \frac{I - 464}{101{,}5} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Für eine Zustandsänderung mit gleichbleibendem Wärmeinhalt, $I =$ Konst., ist auch $\log \dfrac{I - 464}{101{,}5} =$ Konst., so daß die Gleichung dieser Zustandsänderung:

$$\log p + \log\,(v - v') = \text{Konst.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1a)$$

lautet. Diese Gleichung entspricht einer unter 45° gegen die Koordinatenachsen geneigten Geraden. Ist ein Punkt p_1, v_1 der Zustandsänderung mit gleichbleibendem I gegeben, dann hat man nur durch diesen Punkt eine Gerade unter 45° zu Koordinatenachsen zu ziehen. Ist z. B. $I = 600$ gegeben, dann ist

$$\frac{I - 464}{101{,}5} = \frac{600 - 464}{101{,}5} = 1{,}34,$$

und dementsprechend zieht man die Drosselgerade durch einen Punkt im Abstand log 1,34 vom Anfangspunkt.

Die Zustandsänderung bei gleichbleibender inneren Energie hat, wie aus Gl. (IIa) folgt, auch die Neigung von 45° gegen die Koordinatenachsen.

Polytrope. Auch polytropische Zustandsänderungen

$$p\,(v - v')^n = \text{Konst.} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

werden in dem gewählten Koordinatensystem durch Gerade dargestellt; aus (2) folgt:

$$\log p + n \log\,(v - v') = \log\,(\text{Konst.}) \quad \ldots \ldots \quad (2a).$$

Diese Gerade schneidet die log p-Achse in einem Punkt, wo log p = log (Konst.), und die log $(v - v')$-Achse in dem Punkt, wo $\log\,(v - v') = \dfrac{\log\ (\text{Konst.})}{n}$. Sie ist zur log $(v - v')$-Achse unter

$$\operatorname{tg} \alpha = n$$

geneigt.

Ist also ein Punkt p_1, v_1 der Adiabate oder die Konstante gegeben, dann können wir ohne weiteres die Adiabate aufzeichnen.

Sättigungsgerade. Die Sättigungsformel (IV) hat auch die polytropische Form.

$$\frac{15}{16} \log p + \log\,(v - v') = \log 1{,}7235 \quad \ldots \ldots \quad (3).$$

Sie schneidet die log p-Achse im Abstand log 1,7235 vom Anfang und ist zu dieser Achse unter

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{15}{16}$$

geneigt.

Linie gleichen Dampfgehalts. Aus Gl. (VI) erhalten wir ferner

$$\frac{15}{16} \log p + \log\,(v_x - v') = \log\,(1{,}7235\, x) \quad \ldots \ldots \quad (4),$$

woraus zu ersehen ist, daß die Zustandsänderungen mit gleichbleibendem Dampfgehalt parallel zur Sättigungskurve verlaufen.

---

[1]) Thomson, A steam alignement diagram. Engineering Bd. 109 (1920) S. 301, s. a. Z. Bd. 64 (1920) S. 1056.

[2]) Verlag von Julius Springer. 1922.

[3]) Vgl. Mollier, Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf; auch Hütte 1919 Bd. I S. 422.

[4]) Die neulich erschienenen „Tabellen und Diagramme für Wasserdampf" von Knoblauch beweisen die überraschende Genauigkeit dieses Formel.

Sie schneiden die log p-Achse im Abstand log $(1{,}7235\,x)$ vom Anfang oder im Abstand log x vom Schnittpunkt der log p-Achse mit der Sättigungsgeraden. Ist deshalb die Sättigungskurve gezeichnet, dann braucht man nur im Abstand log x eine Parallele zu ihr zu ziehen.

Überhitzungsadiabate. Isentrope. Die adiabatische Zustandsänderung im Überhitzungsgebiet wird durch die Polytrope mit dem Exponenten $n = 1{,}3$ dargestellt (III); alle Adiabaten sind deshalb Geraden, welche unter 52° 30′ zur log v-Achse (genauer: tang $\gamma = 1{,}3$) geneigt sind.

Diese Adiabate gilt aber nur im Überhitzungsgebiet, also bis zum Schnittpunkt mit der Sättigungskurve.

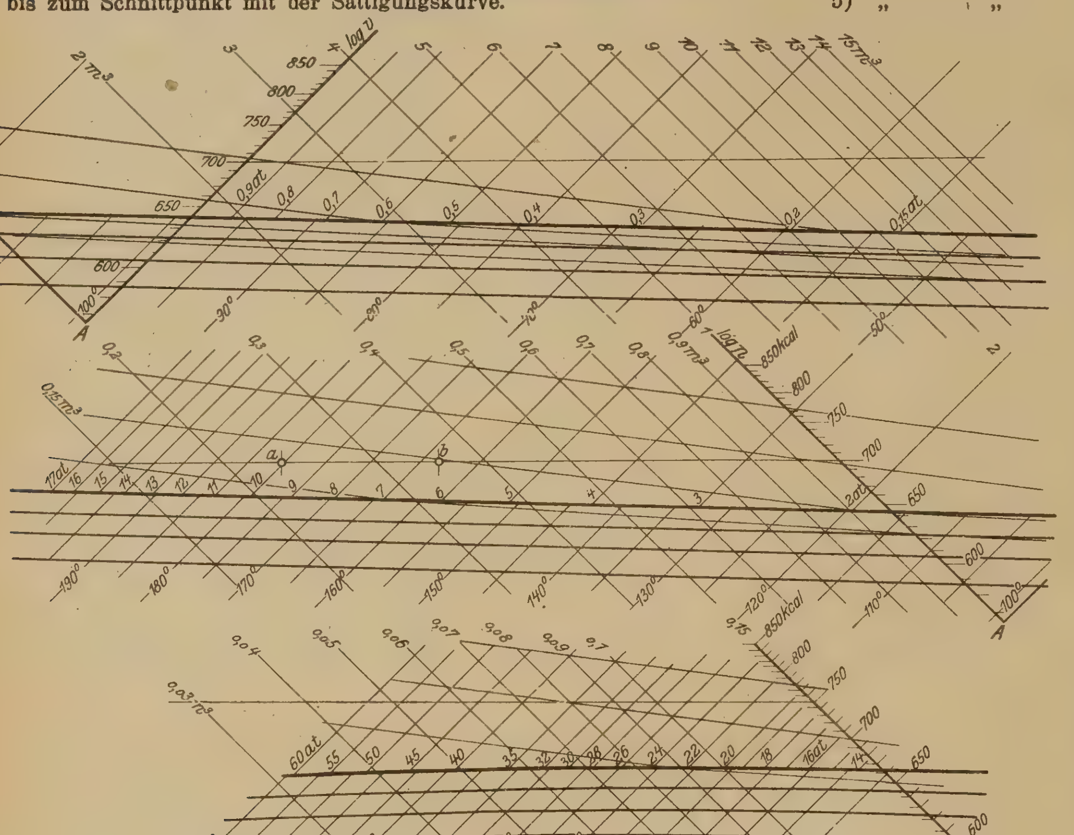


Abb. 1. Neues Wasserdampf-Diagramm.

Jeder Adiabate entspricht, wie bekannt, ein gleichbleibender Wert der Entropie, so daß die Adiabate mit einem bestimmten Wert für die Entropie beziffert sein kann. Da

$$S = 1{,}1 \log T - 0{,}25 \log p - \sigma p - 1{,}0544^{1)} \quad \ldots \quad \text{(IX)},$$

wo

$$\sigma = 78{,}1 \frac{\mathfrak{B}}{T},$$

so schneidet die Adiabate die log p-Achse in einem Punkt, wo

$$\frac{S + \sigma + 1{,}0544}{1{,}1} = \log T \quad \ldots \ldots \quad \text{(IXa)}.$$

Aus dieser Gleichung finden wir für beliebige Werte von T_0 die Werte von S_0; wir finden außerdem aus Gl. (I) den Wert von v_0 für diesen Wert von T_0 und für $p = 1$ und haben somit einen Punkt $(p = 1,\ v_0)$ der Adiabate mit dem angegebenen Wert von S, folglich auch die Isentrope S_0 bestimmt.

Naßdampfadiabate. Im Naßgebiet gilt die Formel VIII, die

$$\log p + (1{,}035 + 0{,}1\,x) \log (v - v') = \text{Konst.} \quad \ldots \quad (5)$$

ergibt.

Gl. (5) entspricht auch, sofern x unveränderlich ist, einer Geraden, die gegen die log v-Achse unter dem Winkel

$$\text{tang}\,\delta = 1{,}035 + 0{,}1\,x$$

geneigt ist. In der Nähe der Sättigung ist $x = 1$ und tang $\delta = 1{,}135$; in der Nähe des Dampfgehaltes $x = 0{,}90$ soll ferner tang $\delta = 1{,}125$ sein usw.

Das neue Diagramm ist in Abb. 1 dargestellt und enthält folgende Zustandsänderungen:

a) im Überhitzungsgebiet
1) bei gleichbleibendem Druck (p),
2) „ „ Volumen (v),
3) „ „ Wärmeinhalt (I),
4) „ „ innerer Energie (U),
5) „ „ Entropie (S),

b) im Naßdampfgebiet
1) bei gleichbleibendem Druck (p),
2) „ „ Volumen (v),
3) „ „ Temperatur (T),
4) „ „ Dampfgehalt (x),
5) „ „ Entropie (S),

c) zwischen den beiden Gebieten
1) die Sättigungsgerade ($x = 1$)

Es fehlen somit im Überhitzungsgebiet die Isotherme und im Naßdampfgebiet die Drosselkurve, die in diesem System nicht durch Gerade dargestellt werden können. Daß aber das Aufzeichnen dieser Kurven keine Schwierigkeiten bietet, soll wie folgt bewiesen werden:

Isotherme im Überhitzungsgebiet. Für einen gegebenen Wert von T ist:

$$\mathfrak{B} = 0{,}075 \left(\frac{T}{273}\right)^{10/3};$$

dieser Gleichung entspricht im logarithmischen Koordinatensystem mit log $\mathfrak{B}$ und log T als Ordinaten eine Gerade. In Abb. 2 ist diese Gerade in stufenartiger Form[2]) aufgezeichnet. Bei gegebenem Wert von T_0 und gewähltem Wert von p_0 findet man ferner aus:

$$v - v' = \frac{R\,T_0}{p_0} - \mathfrak{B}$$

den Wert von $v_0 - v'$ und damit aus dem Diagramm Abb. 1 einen Punkt $v_0 - v'$, p_0 der Isotherme usw.

Drosselkurve im Naßdampfgebiet. Aus Gl. VII folgt:

$$x = \frac{I_x - t_s}{I_s - t_s}.$$

Sucht man die Punkte einer Linie von gleichem Wärmeinhalt I_x = Konst., so wählt man eine beliebige Temperatur t_s und den entsprechenden Wert von I_s und berechnet aus der letzten Gleichung den Wert x; man erhält damit den Punkt t_s, x der gesuchten Kurve I_x = Konst.

Im Hilfsdiagramm Abb. 2 sind auch die Werte σ für Berechnung der Entropie (IX und IXa) angegeben. Das Hilfsdiagramm Abb. 2 ist nichts anderes, als eine graphische Darstellung der Mollierschen Tabelle V[3]).

In Abb. 1 sind der Deutlichkeit halber nur einige Linien eingezeichnet; unten ist ein Maßstab für p, v, x und $R\,T$ angegeben. Die Werte für I sind in jeder Stufe auf den Koordinatenachsen aufgetragen.

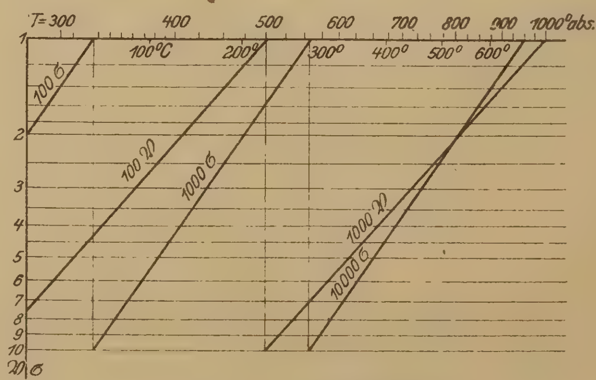


Abb. 2. $\mathfrak{B}$- bez. σ/T-Diagramm.

[1]) Mollier bzw. Hütte a. a. O.

[2]) Vgl. Seiliger, „Graphische Thermodynamik usw." S. 15.

[3]) Vgl. Neue Tabellen usw.

Ein Beispiel soll die Benutzung der geradlinigen Diagramme erläutern. Es sei z. B. Dampf mit dem Anfangsdruck $p = 10$ at und der Anfangstemperatur $t = 250°$ gegeben. Aus dem Maßstab folgt für $T = t + 273 = 523°$ $RT = 2{,}42$ und aus dem Hilfsdiagramm Abb. 2: $p\mathfrak{B} = 0{,}09$, also $p\,(v - v') = 2{,}33$ und $I = 700$ kcal. Damit ist $v - v' = 0{,}233$ und $v = 0{,}234$ (Punkt a). Soll der Dampf bis auf $p = 6{,}8$ at abgedrosselt werden, so finden wir auf der Drosselgeraden $I = 700$ kcal und $p = 6{,}8$ at den Punkt b ($v = 0{,}36$). Soll sich ferner der Dampf adiabatisch bis auf einen Druck von 0,15 at ausdehnen, so ziehen wir aus Punkt b die Adiabate und finden $x = 0{,}89$, also $I_x = 0{,}89 \cdot 620 + 0{,}11 \cdot 54 = 558$. Das gesamte Wärmegefälle ist damit $I_2 - I_1 = 700 - 558 = 148$ kcal.

H o c h d r u c k g e b i e t. Für das Hochdruckgebiet gelten alle obenerwähnten Gleichungen mit Ausnahme von Gl. (IV) und (VI). Trägt man aber die entsprechenden Werte von $\log\,(v - v')$ und $\log p$ der Sättigungskurve in einem rechtwinkligen logarithmischen Koordinatensystem ein, so kann man sofort die einfache Verbindung zwischen diesen zwei Größen finden. Ungefähr zwischen 16 at und 32 at[1]) verläuft die Sättigungskurve (mittlerer Teil) geradlinig mit der Neigung unter 45° zur Koordinatenachse, für höhere und niedrigere Drücke (rechts und links) weichen die Richtungen fast in demselben Grad vom mittleren Teil ab. Daher kann man für die Sättigungskurve folgende Näherungsgleichungen vorschlagen:

$$p^{15/16}\,(v - v') = 1{,}7235 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(IV) bis 16 at.}$$

$$p\,(v - v') = 2{,}049 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(IVa) von 16 bis 32 at.}$$

$$p^{16/15}\,(v - v') = 2{,}545 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(IVb) von 32 bis 60 at.}$$

Unter dieser Annahme ist die dritte Stufe des Diagrammes entworfen.

Natürlich kann die graphische Berechnung nie die Genauigkeit der numerischen übertreffen; die graphische Berechnung verfolgt auch nicht absolute Genauigkeit, sondern bezweckt hauptsächlich Übersichtlichkeit, Schnelligkeit und Erleichterung der schwierigen Rechnungen. Sie hat sich deshalb bei technischen Berechnungen eingeführt, wo in manchen Fällen mit angenäherten Formeln und Werten gearbeitet wird, und wo es sich zumeist um Vorberechnungen handelt: die Nachberechnung kann, falls unbedingte Genauigkeit nötig ist, später numerisch ausgeführt werden. Mit dieser Beschränkung ist die graphische Rechnung ein vorzügliches und unentbehrliches Hilfsmittel der Technik.

[A 2002]

[1]) Nach den Tafeln von S c h ü l e (Technische Thermodynamik II) ist $A_p(v_s - \sigma)$ zwischen 27 und 40 at und nach den Tafeln von K n o b l a u c h zwischen 19 und 26 at unveränderlich.

Die Dampfkesselexplosionen im Deutschen Reiche während des Jahres 1922[1]).

In den Dampfkesselbetrieben innerhalb des deutschen Reichsgebietes sind im Jahre 1922 zehn Explosionen festgestellt worden. Hiervon waren fünf durch Wassermangel, zwei durch örtliche Blechschwächungen veranlaßt, während in je einem Falle mangelhafte Stehbolzenverbindungen, Ermüdung der Wandung und Nachverbrennungen als Ursachen angenommen wurden. Bei diesen Explosionen sind acht Personen getötet, fünf schwer und sechzehn leicht verletzt worden. Die beschädigten Kessel waren:

1. Zweiflammrohrkessel im Betriebe der Neuen Senftenberger Kohlenwerke in Tröbitz, erbaut 1901, Heizfläche 90 m², Betriebsdruck 8 at. Bei der Explosion am 3. März 1922 wurden die beiden ersten Schüsse des einen Flammrohres fast ganz zusammengedrückt, wobei sich eine Öffnung von 0,3 m² bildete. Ursache ist Wassermangel.

2. Zweiflammrohrkessel mit Quersiedern und einem Dampfsammler im Oberzug über dem Flammrohrkesselkörper, erbaut 1906, Heizfläche 95 m², Betriebsdruck 12 at. Die Explosion in der Spinnerei von Kümpers in Eschendorf bei Rheine i. W. am 8. März 1922 ist durch örtliche Überhitzung infolge von Nachverbrennungen verursacht worden. Der Dampfsammler riß in einer Länge von 570 mm auf. Das 11 mm starke Blech war an den Rändern bis auf 1,5 mm ausgezogen. Die Kesselbesitzerin war auf die durch erhöhte Rostbeanspruchung vergrößerte Gefahr der Nachverbrennungen hingewiesen worden.

3. Zweifacher Walzenkessel mit je zwei Unterkesseln (Batteriekessel), erbaut 1911, Heizfläche 150 m², Betriebsdruck 11 at. Bei der durch Wassermangel verursachten Explosion auf dem Steinkohlenbergwerk der Gewerkschaft Morgenstern in Brückenberg am 12. März 1922 ist der erste Schuß des linken Oberkessels in seiner ganzen Länge aufgerissen, nachdem eine größere Beule in dem ausgeglühten Blech entstanden war. Der zugehörige Kesselboden wurde gegen Kohlenbunkerträger geschleudert und bog sie halbkreisförmig ein. Eine Person gestorben, zwei Personen leicht verletzt.

4. Einflammrohrkessel aus dem Jahre 1887, im Betrieb der Faßfabrik von L. Kraft Söhne. Er explodierte am 28. März 1922 infolge von Wassermangel, der durch falsche Anzeige entstanden war. Die untere Öffnung des Wasserstandglases war durch die Gummipackung verschlossen und die Bohrung in der Kesselstirnwand mit Kesselstein verstopft. Die beiden ersten Flammrohrschüsse wurden eingebeult und aufgerissen. Eine Person ist gestorben, eine wurde leicht und zwei Personen wurden schwer verletzt.

5. Wasserrohrkessel, erbaut 1912, Heizfläche 150 m², Betriebsdruck 10 at. Bei der Explosion in der Luxuspapierfabrik von Heilbrunn & Pinner in Halle a. S. am 11. April 1922 wurde der vordere Boden des Oberkessels in der ganzen Krempe abgerissen, nachdem in der unteren Krempenhälfte ein Anbruch infolge Ermüdung entstanden war. Ähnliche Erscheinungen sind mehrfach in Elektrizitätswerken beobachtet worden[2]). Ungünstig hat die Anlage des Speiserohrs gewirkt, das in der Nähe und in Richtung der unteren Bodenkrempe mündete. Zwei Personen schwer, acht (Arbeiterinnen) leicht verletzt.

6. Schiffskessel, Einflammrohrkessel mit Feuerbüchse und rückkehrenden Heizröhren, erbaut 1906, Heizfläche 60 m², Betriebsdruck 13 at. Die Explosion auf dem Schleppdampfer „Liebling" bei Frankfurt a. M. am 21. April 1922 ist durch schadhafte Stehbolzenverbindungen verursacht worden. Ferner lassen aufgefundene Anzeichen vermuten, daß ein Sicherheitsventil überlastet worden ist. Die Umlaufwand der Feuerkammer war ausgebeult und abgerissen. Eine Person gestorben, eine schwer, zwei Personen leicht verletzt.

7. Zweiflammrohrkessel, erbaut 1872, Heizfläche 57 m², Betriebsdruck auf 4 at herabgesetzt. Bei der durch Wassermangel verursachten Explosion in der Wollwäscherei von Herrmann & Sohn in Bischofswerda am 26. Juni 1922 wurden die Flammrohre ausgebeult und zerrissen. Am linken Wasserstandsanzeiger (Klingerscher Bauart) war der Wasserspiegel nicht zu sehen, weil das gerippte Glas verkehrt eingesetzt war. Eine gußeiserne, wagerechte Versteifung hinter den Gläsern der beiden Anzeiger gab zu Täuschungen über den Wasserstand Anlaß. Eine Person leicht verletzt.

8. Zweiflammrohrkessel, erbaut 1909, Heizfläche 103 m², Betriebsdruck 12 at, explodierte am 5. Juli 1922 auf dem Kalibergwerk Rastenberg infolge von Wassermangel. Ein Flammrohr wurde eingebeult und aufgerissen. Zwei Personen sind gestorben.

9. Zweiflammrohrkessel, erbaut 1902, Heizfläche 87 m², Betriebsdruck 9 at. Die Explosion auf dem Kohlenbergwerk Deutschland in Hohndorf am 17. Juli 1923 ist durch eine örtliche Blechschwächung verursacht worden. Infolge ungeeigneter Beschaffenheit des Kesselspeisewassers waren besonders starke Anfressungen am Wellrohrschuß des linken Flammrohres entstanden, so daß dieser im Umfang von 550 mm abriß und muldenförmig eingedrückt wurde. Das Blech war an der Rißstelle nur 2 bis 3 mm dick. Der Wellrohrschuß sollte ausgewechselt werden.

10. Schiffskessel, Einflammrohrkessel mit Feuerbüchse und rückkehrenden Heizröhren, erbaut 1889 und seitdem auf dem Schleppdampfer „Kyffhäuser" im Betrieb. Bei der Explosion während einer Schleppfahrt auf der Oder in der Nähe von Brieg am 18. August 1922 wurde der Kesselmantel vollständig abgerissen, aufgerollt und 50 m weit geschleudert, der übrige Kesselkörper ist 5 m seitwärts aufgefunden worden. Das Schiffsvorderdeck war vollständig zerstört. Die zerrissenen, schweißeisernen Blechteile zeigten ein sehr schlechtes, schieferartiges Gefüge. Der hintere Mantelschuß war unten infolge seiner Lagerung im Leckwasser der Bilge auf 1 bis 2 mm abgerostet. Hier ist der Ausgangspunkt der Explosion zu suchen. Allerdings hat der Dampfkessel zwei Jahre früher noch einer Wasserdruckprobe widerstanden. Die auf dem Schiffe anwesenden drei Personen sind gestorben.

Aus dem Jahre 1921[3]) ist eine verspätet angemeldete Explosion nachzutragen, die sich in der Dampfziegelei Stöcken bei Hannover am 18. Dezember 1921 ereignet hat. Dort riß an einem 1907 erbauten Zweiflammrohrkessel der vorletzte Mantelschuß in der Längsrichtung, wodurch nach teilweisem Aufrollen der Rundnähte eine Öffnung von 1,5 × 6 m entstand. Örtliche Schwächungen wurden nicht ermittelt. Der Unfall ist vermutlich auf einen Fehler im Blech zurückzuführen. Der Dampferzeuger wurde 15 m nach der Seite geschleudert, wobei der Nachbarkessel verschoben wurde. Eine Person schwer, zwei Personen leicht verletzt. [M 2091] S.

[1]) Vierteljahrshefte zur Statistik des Deutschen Reiches 1923 Heft 3.
[2]) Mitt. d. Vereinig. d. Elektrizitätswerke Nr. 306.
[3]) s. Bd. 66 (1922) S. 286.

Institut für Gießereikunde in Breslau.

In Anlehnung an das Eisenhüttenmännische Institut der Technischen Hochschule Breslau ist ein Institut für Gießereikunde eingerichtet worden. Es besteht aus einer Lehrgießerei mit einem Kuppelofen, zwei elektrischen Schmelzöfen, verschiedenen Formmaschinen und zahlreichen für die Formerei notwendigen Materialien, einem Laboratorium zur Prüfung von Formsand und Formmasse und neuzeitlichen Einrichtungen für die mechanische, chemische und metallographische Materialprüfung. Den Studierenden wird die Möglichkeit geboten, durch Belegen von Vorlesungen und Arbeiten auf metallurgischem und formtechnischem Gebiet in einem besonderen Gießereipraktikum sich als Gießereiingenieure auszubilden. [M 2052]

Dampf-Luft-Turbinen für Hilfsmaschinenantrieb, insbesondere auf Motorschiffen.

Von Dr.-Ing. Herbert Melan, Kiel.

Der Antrieb von Hilfsmaschinen auf Motortankschiffen. — Dampf-, Luft- und Dampfluftbetrieb. — Versuche der Werft Kiel der Deutschen Werke A.-G. an Kolbenmaschinen und Turbinen. — Zeichnerische Darstellung der Versuchsergebnisse bei Dampf-Luft-Turbinen. — Schlußfolgerung.

Eingehende Vergleichsrechnungen haben die höhere Wirtschaftlichkeit des Dampf-Luft-Betriebes im Vergleich zum elektrischen Antriebe von Hilfsmaschinen in allen Fällen bewiesen. Besonders scheint die Anwendung dieser neuen Antriebart auf Motortankschiffen die gegebene Lösung zu sein, da hier eine Wärmequelle (Hilfsdampfkessel) zur Erwärmung des Ladegutes von vornherein vorgesehen werden muß, Dampf also stets vorhanden ist. Die Heranziehung dieses Dampfes zur Arbeitleistung gestattet wirtschaftliches Arbeiten des Hilfskessels, dessen Abmessungen aber wesentlich kleiner sind als die der zum reinen Dampfantriebe der Hilfsmaschinen nötigen Kessel. Beim Motorschiff mit Dampf-Luft-Betrieb ist daher mit bedeutend kleineren Anlage- und Betriebskosten als beim reinen Dampfantrieb zu rechnen; denn die zur Erzeugung des Gemischbetriebes nötige Luftmenge wird mit Leichtigkeit von den Verdichtern der Dieselmotorenanlage geliefert. Die Betriebskosten des reinen Druckluftbetriebes sind zwar theoretisch billiger, seine Durchführbarkeit scheitert aber an der Unmöglichkeit, die für die Erzeugung nötigen großen Verdichter aufzustellen. Ein weiterer Nachteil des reinen Druckluftbetriebes ist die Gefahr der Eisbildung die bei Kolbenmaschinen zu ernsten Störungen Anlaß geben kann

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Einführung dieser neuen Betriebsart war aber die durch Versuche festgestellte Tatsache, daß bei einem gewissen Mischungsverhältnisse die gesamte Mischmenge kleiner wird als die zur gleichen Belastung gehörige Dampfmenge. Mit andern Worten: Bei einem bestimmten Dampfsättigungsgebiet spart man Dampf durch Zusatz von Luft. Da der Dampf stets mit größeren Verlusten im Kessel erzeugt werden muß, die Lufterzeugung aber die verhältnismäßig hohe Brennstoffausnutzung des Dieselmotors enthält, wird durch den Dampf-Luft-Betrieb unmittelbar Brennstoff gespart.

Abb. 1. Versuchsdiagramm.

Die grundlegenden Versuche wurden bereits im Jahre 1920 auf der Werft Kiel der Deutschen Werke Aktiengesellschaft angestellt. Zunächst waren Kolbenmaschinen der üblichen Bauart zum Antriebe aller Arten von Hilfsmaschinen, wie Winden, Ladepumpen usw., untersucht worden. Eine derartige Anlage wurde bei einem im Sommer 1923 fertiggestellten Motortankschiffe zum ersten Mal ausgeführt.

Mit der Einführung der Kreiselmaschinen, wie Gebläsen aller Art, Kreiselpumpen usw., an Bord von Handelsschiffen hat auch die Kolbenmaschine der einfacheren und billigeren Turbine weichen müssen. Daher erhob sich bei folgerichtiger Anwendung der angeführten Tatsachen zunächst die Frage nach dem Verhalten der Turbine bei Dampf-Luft-Betrieb. Um sie zu klären, wurde auf dem Prüffelde der Werft Kiel der Deutschen Werke A.-G. eine kleine für den Antrieb eines Siroccolüfters bestimmte Getriebeturbine neuester Bauart eingehend untersucht. Das Versuchsergebnis enthält Abb. 1.

Die Versuchseinrichtung bestand aus einer Anzahl Hochdruck-Luftbehälter, einem Ausgleich-Luftbehälter, der Dampf-Luft-Mischeinrichtung und aus der mit den üblichen Einrichtungen versehenen Prüfturbine.

Der Betrieb der Turbine konnte nun auf folgende Arten vor sich gehen:

1. Betrieb mit reinem Kesseldampf aus dem Kesselhaus des Prüfraumes;
2. Betrieb mit reiner Druckluft aus den Behältern;
3. Betrieb mit Dampf und Luft in jedem verlangten Mischungsverhältnisse.

Bei den Versuchen mit den Kolbenmaschinen mußte die Dampfmenge durch Kondensatwägung festgestellt werden. Bei den neuen Versuchen wurde dagegen die Bestimmung sämtlicher Treibmittel durch Düsenmessung vorgezogen. Die von undichten Stellen herrührenden unvermeidlichen Luftverluste wurden dauernd mitbestimmt. Dadurch wurde der Genauigkeitsgrad der Messungen wesentlich gehoben.

Außer durch diese Düsenmessungen konnte man die Luftmenge auch noch auf andere Art bestimmen. Die Luft wurde nach Abschluß der Zulieferung den Hochdruckbehältern entnommen, die von der Hauptkompressor-Zentrale auf etwa 90 at aufgefüllt waren. Durch Messung des Druckabfalles in diesen geeichten Behältern bei gleichzeitiger Beobachtung von Zeit und Temperatur konnte mit Hilfe einer einfachen Gleichung jederzeit eine Prüfung ausgeübt werden.

Das vorläufige Ergebnis läßt sich bei Betrachtung des Schaubildes wie folgt darstellen:

Der reine Luftverbrauch, auf die Leistung bezogen, ist bei den für Bordzwecke in Frage kommenden Drücken stets höher als der reine Dampfverbrauch. Im Schaubilde bedeutet

D die Dampfmenge in kg/h
L „ Luftmenge in kg/h
G „ Mischmenge in kg/PSe und kg/h
N „ Leistungswert in PS.

Dann stellt $\lambda = \frac{D}{L+D}$ die Sättigungsziffer dar, die bei $L = 0$ den Wert 1 erreicht (volle Sättigung). Wird die Turbine mit einem $\lambda = 0{,}6$ bis 1,0 betrieben, so ändert sich die gesamte Treibmittelmenge bei Vollast nur unbedeutend (mit einem Kleinwert bei etwa $\lambda = 0{,}70$). Dampf und Luft verhalten sich somit im Mischzustande gleichwertig, so daß Dampf durch Zusetzen von Luft gespart wird. Als betriebstechnischer Vorteil ergibt sich ferner der Umstand, daß selbst bei tieferen Ausdehnungen, wie sie Turbinenbetriebe ergeben, keine Vereisungsgefahr vorliegt. Die thermischen Eigenschaften können weiter durch geeignete Vorwärmung der Luft mit Hilfe der Motorabgase und durch Vorwärmer gehoben werden, so daß sich ein sehr günstiger Prozeßwirkungsgrad ergibt.

Die theoretischen Grundlagen sind infolge der in Frage kommenden hohen Drücke sehr verwickelt. Da aber das Bestreben besteht, möglichst hohe Temperaturen zu erzielen, können für rechnerische Ermittlungen die einfachen Gasgesetze zur Anwendung gelangen.

Der Turbinenbetrieb der Hilfsmaschinen hat sich bei Dampfanlagen auf Schiffen dank seiner zahlreichen Vorzüge immer mehr eingebürgert. Das neue Verfahren scheint ganz besonders dazu geeignet, der Turbine ein neues Gebiet des Schiffsmaschinenbaues zu eröffnen. Die große Betriebsicherheit, die einfache Handhabung sind im Verein mit der Möglichkeit, höchste Drücke und Temperaturen gefahrlos zu verwenden, Vorteile von ausschlaggebender Bedeutung. [1989]

Längsablauf bei Flußschiffen.

Binnenschiffe läßt man im Gegensatz zu Seeschiffen vorwiegend quer zur Längsachse vom Stapel laufen. Man erreicht damit, daß das leichter gebaute Binnenschiff im Gegensatz zum festeren Seeschiff auch beim Stapellauf weniger beansprucht wird.

In „Werft, Reederei und Hafen" Bd. 4 vom 7. November 1923 behandelt Wrobbel die Frage, ob sich der aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlende Längsablauf auch für Binnenschiffe eignet. Wrobbels Rechnungsergebnisse sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Er hat zwei Neigungen der Ablaufbahn untersucht und hat gefunden, daß sich die Beanspruchungen nur um 8 vH verringern, wenn die Neigung der Ablaufbahn um 40 vH verringert wird. Ferner hat er festgestellt, daß die rechnerischen Beanspruchungen unter der als zulässig anzusehenden Beanspruchung von 1500 kg/cm² bleiben und daß, wie aus der rechnerischen und tatsächlichen Durchbiegung folgt, die tatsächlichen Beanspruchungen um etwa 13 vH kleiner sind als die rechnerischen. Nach Wrobbel ist demnach der Längsablauf auch bei Flußschiffen im allgemeinen zulässig. Im übrigen wendet sich Wrobbel gegen den Sprung bei Flußschiffen, den er als durchaus zwecklos ansieht.

[M 2054] Dr. W. S.

Zahlentafel 1. Kahn für den Rhein-Herne-Kanal. Länge zwischen d. Loten 78 m, Breite auf Spanten 9,43 m, Seitenhöhe 2,50 m, Tragfähigkeit 1371 t, Wasserverdrängung $D = 1638$ t voll beladen, Ablaufgewicht 230 t. Zulässige Höchstbeanspruchung 500 kg/cm² nach Wrobbel.

Neigung der Ablaufbahn	Größtes Biegungsmoment mt	Größte Druckbeanspruchung oben kg/cm²	Größte Zugbeanspruchung unten kg/cm²	Durchbiegung cm	Druck auf Vorkante Schlitten t	Größte auftretende Schubbeanspruchung kg/cm²
$\frac{1}{10}$	$1527 = \frac{DL}{8{,}37}$	1318	677	16,7	98	744
„	$1340 = \frac{DL^{*)}}{9{,}5}$	1160*)	595*)	14,7**)	—	—
$\frac{1}{16{,}67}$	$1407 = \frac{DL}{9{,}15}$	1215	624	14,6	90	—

*) berechnet aus der gemessenen Durchbiegung von 14,7 cm. **) gemessen.

Die Anwendung des Arbeitsregler-Antriebes.

Von Oberingenieur Othmar Pollok, Berlin.

(Schluß von Seite 8.)

2. Größere Scheren, Schrotscheren, Stanzen, Loch-, Abgrat-, Biege-, Mannloch- und Bördelpressen, Tafelscheren, Knüppel-, Platinen-, Blockscheren u. dgl. Für diese Maschinen gilt die vorerwähnte Beschränkung der Hubzahl in der Minute auch, soweit nicht durch selbsttätige Zu- und Abführungseinrichtungen eine wirkliche Ausnützung der Maschinen ermöglicht wird. Sonst spielt es für die tatsächliche Arbeitzeit gar keine Rolle, ob ein Doppelhub bei schwerster Belastung in 5 oder in 8 s gemacht wird; dagegen stehen die Anschaffungskosten des Antriebes, die Wirtschaftlichkeit und die Beanspruchung der Kraftquelle im direkten, bzw. umgekehrten Verhältnis zu dieser Hubzeit.

Bei Schwungradmaschinen konnten solche Umstände weniger beachtet werden, da man die Maschinen wegen der Bruchgefahr an sich so schwer wie möglich haben wollte, weil Schwungräder bei schneller Entladung besser zur Wirkung gebracht werden können als bei langsamer Entladung, weil man bei leichten Arbeiten mit der gleichen Hubzahl rechnen mußte wie bei den schwersten Arbeiten, und weil man immer auch die Griffzeit für die Kupplung zu berücksichtigen hatte.

Stehen für einen Doppelhub bei voller Belastung 3 bis 4 s oder mehr zur Verfügung und ist mit Hubpausen zu rechnen, die größer sind als diese Zeit, so ist es bereits wirtschaftlich, den Arbeitsreglermotor für jeden Hub anlaufen und abstellen zu lassen, weil dadurch nicht nur die schwierigen Kupplungen, sondern auch sämtliche Leerlaufverluste erspart werden. Die elektrische Einrichtung ist aber dann immer so, daß der Motor, wenn nötig, durchlaufen kann, also Hub auf Hub erfolgt, wobei aber auch in jedem Augenblick, also an einer beliebigen Stelle des Hubes, stillgesetzt und wieder angelassen werden kann.

Zu diesem Zweck wird für den Motor eine selbsttätige Schützensteuerung mit selbsttätiger Bremsung vorgesehen, die durch Druckknöpfe oder auch durch Führerwalze betätigt wird. Mit der Steuerung können noch eine Reihe selbsttätiger und andrer Einrichtungen verbunden werden. Die wichtigste davon ist die selbsttätige Drehmomentauslösung; diese bringt den Antrieb bei einer Überlastung, der durch den Arbeitsregler nicht mehr ausgewichen werden kann, mit oder ohne Weiterausübung des vollen Drehmomentes (Druckes) sofort zum Stillstand. Damit wird ein äußerst wirksamer Schutz gegen Bruchgefahr erreicht.

Für die überschlägige Berechnung der Motorspitzenleistung und der Übersetzung wird die Mitwirkung der Schwungmassen einerseits und die Getriebereibung anderseits vernachlässigt. Die aus der Übersetzung berechnete Hubzahl bei der Höchstdrehzahl des Motors ist durch eine Verzögerungsziffer zu teilen, die den Zeitverlust beim Anlaufen und Bremsen und bei Ausübung der großen Drücke enthält.

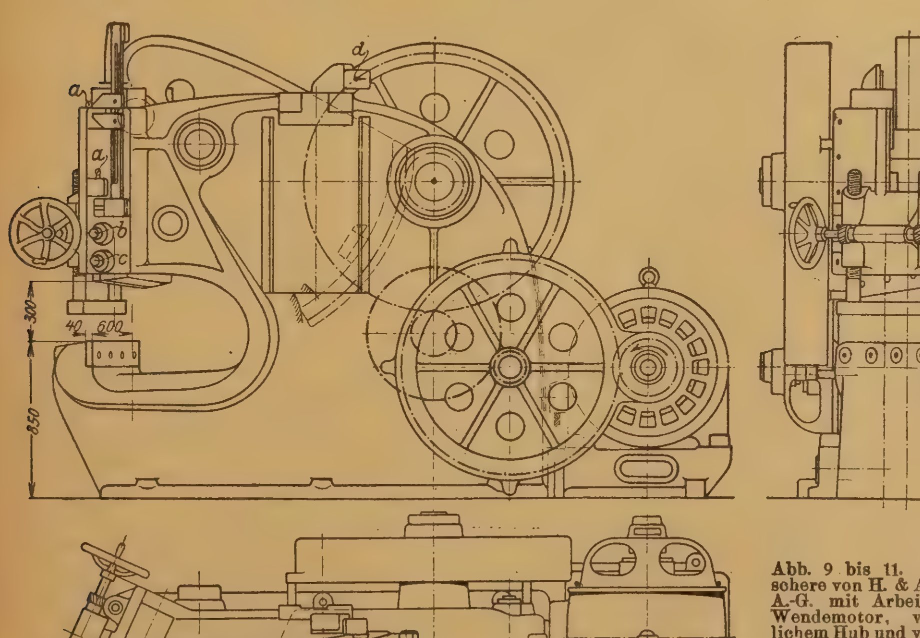
Die Verzögerungsziffer für Anlauf und Bremsen beträgt etwa 1,15 bis 1,2. Diese Zahl bleibt für alle Arbeiten bis zu solchen, die mehr als $\frac{1}{R}$ des größten Arbeitsdruckes beanspruchen, gleich. Ist der Motorregulierbereich $R = 4$, und handelt es sich um eine Blechschere, so bedeutet dies, daß bis zur Hälfte der größten Blechdicke keine weitere Verzögerung eintritt. Bei größeren Drücken kommt die Verzögerungsziffer durch die Wirkung des Arbeitsreglers hinzu. Diese läßt sich am besten an der Hand der Zeitweglinie in einem Schaubild wie in Abb. 7 bestimmen.

Wie ersichtlich, hängt dabei die Verzögerung sehr stark von dem Verhältnis zwischen Leerlauf- und Lastweg ab. Am günstigsten ist dieses Verhältnis bei Kaltscheren für Knüppel und Stangen, am ungünstigsten dagegen bei Blechscheren, so daß bei dieser Maschinenart, wie auch aus Abb. 7 hervorgeht, die Arbeitsregler-Verzögerungsziffer für volle Blechdicke und -breite bis 1,4 betragen kann. Die Ziffer vermindert sich aber nicht nur mit der Blechdicke, sondern auch mit der Blechbreite.

Die Notwendigkeit der Anwendung eines Ausgleichmittels, von dem das Schwungrad noch als das wirtschaftlichste zu bezeichnen ist, begünstigte die Anwendung des Kurbelgetriebes, obwohl die Anwendung andrer Mittel zur Umwandlung der drehenden Bewegung in geradlinige Bewegung in vielen Fällen vorteilhafter wäre. Diese Fälle sind besonders die, wo der Hub veränderlich sein soll, und zwar bei möglichst gleichbleibender Arbeitsgeschwindigkeit, d. h. die Hubzahl soll bei kleineren Hublängen entsprechend größer sein als bei großen Hublängen. Durch ein Kurbelgetriebe mit veränderlichem Kurbel- bzw. Exzenterhalbmesser kann wohl die Hublänge, nicht aber die Hubzahl verändert werden. Durch Verringern des Kurbel- bzw. Exzenterhalbmessers wird wohl gleichzeitig auch bei gleichem Druck das Drehmoment vermindert und der Antrieb entlastet. Bei Schwungradantrieb führt dies jedoch nicht zu einer Erhöhung der Hubzahl, wohl aber beim Arbeitsreglerantrieb. Die Erhöhung der Hubzahl kann aber dabei höchstens 30 bis 40 vH durch den Wegfall der Arbeitsregler-Verzögerungsziffer betragen.

Man wird also den Kurbelantrieb gern verlassen, wenn es sich darum handelt, bei verschiedenen Hüben gleiche Hubgeschwindigkeiten zu erzielen. Durch den Arbeitsreglerantrieb wird dieses Bestreben gefördert, weil der Reguliermotor gleichzeitig auch das beste Bewegungsumkehrmittel ist. Der Beweis hierfür ist durch die Hobelmaschinen mit dem bewährten Wendereguliermotor-Antrieb gegeben. Während bei jeder mechanischen Bewegungsumkehr die lebendige Kraft der Getriebsteile bei der Bewegungsumkehr durch Gegenkraft vernichtet werden muß, wird bei dem Umkehrreguliermotor-Antrieb die lebendige Kraft des Motorankers und der Getriebeteile vor dem Richtungswechsel in Widerständen vernichtet oder durch Nutzbremsung zurückgewonnen. Es ist also bei jeder Umkehr die einfache Beschleunigungsarbeit zu leisten, während bei mechanischen Antrieben mindestens die doppelte Beschleunigungsarbeit bei jeder Umkehr aufzuwenden ist.

Von diesen Umständen wurde bei einer Schrotschere der Maschinenfabrik Hermann & Alfred Escher A.-G., Chemnitz, Abb. 9 bis 11, Gebrauch gemacht. Der Messerschlitten wird durch einen doppelarmigen Hebel bewegt, der an seinem längeren Hebelarm ein Zahnsegment trägt. Dieses Zahnsegment steht im Eingriff mit einem Ritzel, das durch einige Zwischenräder mit dem Umkehrmotor verbunden ist. Der Schlitten hat verschiebbare Anschlaglineale, durch die je ein Grenzschalter betätigt wird. Der Motor wird durch Druckknöpfe in der einen oder andern Richtung angelassen, das Umsteuern am unteren Hubende erfolgt selbsttätig durch das untere Anschlaglineal. Am oberen Hubende setzt sich der Motor selbsttätig still, bis durch erneutes Drücken auf den Druckknopf ein weiterer Hub eingeleitet wird. Bei andauerndem Drücken auf den Einschaltdruckknopf folgt Hub auf Hub. Die Hubhöhe ist nun durch die Stellung der Anschlaglineale



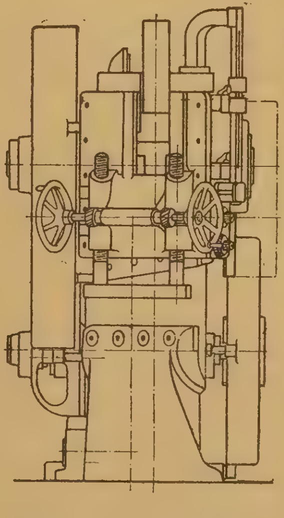


Abb. 9 bis 11. Schrottschere von H. & A. Escher A.-G. mit Arbeitsregler-Wendemotor, veränderlichem Hub und veränderlicher Hubzahl. (TWL 2964)

gegeben. Sie kann während des Arbeitens durch einen einfachen Handgriff beliebig verändert werden.

Bei dieser Schere können also große und kleine Hübe während des Arbeitens eingestellt werden. Die Hubgeschwindigkeit bleibt annähernd gleich, und es werden bei kleinen Hüben entsprechend mehr Hübe in der Minute ausgeführt. Da gerade bei Schrotscheren unregelmäßig gegliederte mit vollen einfach gehaltenen Stücken abwechseln, so ist es auf diese Weise möglich, eine Schere zu erhalten, die einerseits die sperrigsten Stücke schneiden kann und anderseits auch bei kleinen vollen Querschnitten und Blechen schnell und wirtschaftlich arbeitet.

Es kommt aber noch ein weiterer günstiger Umstand hinzu, nämlich der, daß die Kniehebelwirkung des Kurbelgetriebes nicht mehr vorhanden ist, so daß tatsächlich unberechenbare Kräfte in der Maschine nicht mehr auftreten können. Die Kräfte, die bei

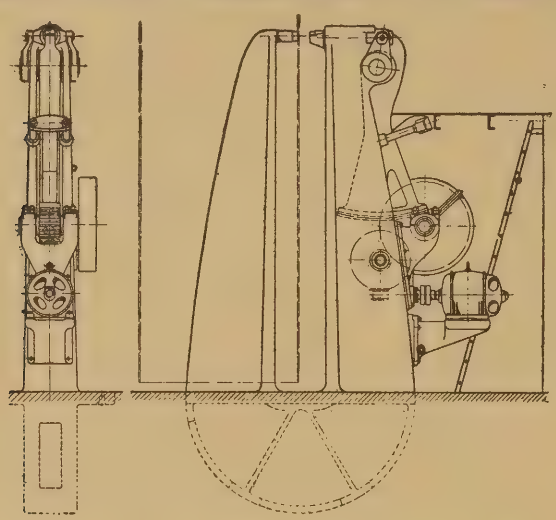


Abb. 12 und 13. Nietmaschine der Maschinenfabrik Schieß für Motorenantrieb mit Arbeitsregler. (TWL 2965)

dieser Maschine auftreten, stehen immer im geraden Verhältnis zum Motordrehmoment und können daher immer in den zulässigen Grenzen gehalten werden, da dies auch für das Motordrehmoment möglich ist.

Besonders wichtig ist dieser Umstand für Nietmaschinen. Wie die Untersuchungen von Prof. Richard Baumann, Stuttgart[1]), über die Beanspruchung der Bleche beim Nieten ergeben haben, darf der Nietdruck bestimmte Größen niemals überschreiten, da sonst das Gefüge der Bleche zerstört wird. Bei allen Nietmaschinen, die ein Kurbel- oder Kniehebelgetriebe benutzen, hängt der wirkliche Nietdruck von der Einstellung der Döpper bzw. von der wirklichen Blechdicke oder Nietenlange ab. Es können also praktisch nicht feststellbare und ungleichmäßige Nietdrückte entstehen.

Dieser Nachteil wird bei der Konstruktion der Maschinenfabrik Schieß A.-G., Düsseldorf, Abb. 12 und 13, durch Verwendung des Wendereguliermotors und eines Zahnbogengetriebes vollständig vermieden. Der durch den doppelarmigen Hebel mit Zahnbogen unmittelbar betätigte Nietstempel ist bei Anwendung für dichte Nietungen von einem Blechschließer umgeben. Der Blechschließer wird nach einer geschützten Konstruktion der Maschinenfabrik Schieß vor Beginn des eigentlichen Nietens betätigt, so daß die Bleche schon vor dem Einsetzen des Nietdruckes dicht zusammengefügt werden. Der Nietdruck wird durch den einstellbaren Drehmomentauslöser des Motors begrenzt. Je nachdem, ob das Getriebe selbsthemmend ist oder nicht, wird der Motor abgestellt, oder er bleibt unter Ausübung seines Drehmomentes stehen. In beiden Fällen wird der Druck so lange aufrecht erhalten, bis das Niet erkaltet. Dann wird durch Drücken eines Knopfes der Motor umgesteuert und der Nietstempel zurückgezogen. In der Anfangstellung bleibt der Nietstempel und der Motor dann selbsttätig stehen[2]).

Der Motor wird durch den Arbeitsregler so beeinflußt, daß der Annäherungs- und der Rückhub mit großer Geschwindigkeit erfolgt und der eigentliche Nietdruck mit geringerer Geschwindigkeit ausgeübt wird. Die Bedienung der Maschine ist also fast noch einfacher, als die einer derartigen Maschine mit Druckwasserantrieb. An Wirtschaftlichkeit ist sie aber außerordentlich überlegen, weil nicht nur keine Umformung, kein Sammler, keine Dichtigkeits-, Ventilverluste usw. vorkommen, sondern während der Arbeitspausen überhaupt keinerlei Energie verbraucht wird. Es entfallen also die außerordentlich unwirtschaftlichen hydraulischen Anlagen.

[1]) s. Stahl und Eisen Bd. 42 (1922) S. 1865.

[2]) Durch ein einfaches, mit dem Drehmomentauslöser verbundenes, einstellbares Zeitrelais kann man sich dabei von der Gewissenhaftigkeit des Arbeiters unabhängig machen und außerdem die Einrichtung so treffen, daß nach Ablauf der Erkaltungszeit der Nietstempel selbsttätig zurückgezogen wird. D. R. P. a.

Bei größeren Hublängen wird zweckmäßig auch das Zahnbogengetriebe verlassen und die Arbeitsweise wie bei den entsprechenden hydraulischen Maschinen gewählt, mit dem Unterschied, daß statt des Druckwasserkolbens Zahnstange, Ketten, Spindeln und Doppelspindeln zur Anwendung kommen. Mit Zahnstangen lassen sich große Kräfte schwer übertragen, obwohl es bereits Konstruktionen gibt, bei welchen mehrere Ritzel, bzw. eine größere Zähnezahl gleichzeitig im Eingriff stehen. Der Zahndruck der einzelnen Ritzel wird dabei durch einen Wagebalken oder ein entsprechendes Getriebe ausgeglichen. Ebenso können mehrere Zahnstangen zusammen arbeiten, wobei ebenfalls ein Ausgleich der Zahndrücke zum Zweck der gleichmäßigen Belastung jeder Zahnstange stattfindet.

Ein einfaches Mittel ist auch dies: anstatt Druckelemente Zugelemente, und zwar Gelenkketten anzuwenden. Derartige Gelenkketten werden in betriebsicherer Ausführung für 100 t und mehr Zugkraft ausgeführt, und es ist leicht möglich, durch Anwendung von zwei Ketten, die an einem Wagebalken angreifen, 200 t und mehr Zug- bzw. Druckkraft zu übertragen. Die Kettenradachse wird in solchen Fällen in Rollenlagern gelagert.

Die einfachste Anordnung ergibt sich aber bei Verwendung von Schraubspindeln. Bei größeren Drücken können auch zwei Schraubspindeln zusammen arbeiten, Abb. 14 und 15. Die beiden Schraubspindeln sind durch einen Wagebalken verbunden, durch welchen die Kraft gleichmäßig verteilt wird. Die eine Spindel hat Rechts-, die andre Linksgewinde. Die Schneckenradmuttern befinden sich in einem gemeinsamen Gehäuse. Von den Schneckentrieben, die auf gemeinsamer Welle sitzen, hat ebenfalls das eine Rechts-, das andre Linksgewinde, so daß sich die Axialdrücke gegenseitig in der Welle aufheben. Die Schneckenradwelle wird unmittelbar mit dem Wendereguliermotor gekuppelt. Das Arbeitswerkzeug, in diesem Falle ein Lochstempel, ist so mit dem Wagebalken verbunden, daß die wirksame Kraft im Drehpunkt des Wagebalkens angreift.

Abb. 16 zeigt das Arbeits- und Geschwindigkeitsdiagramm, das für eine derartige Lochpresse vorgesehen wurde. Der Regulierbereich des Antriebmotors beträgt dabei 1 : 6, und die Steuerung erfolgt durch Vermittlung eines Leonard-Umformers. Hierbei wird außer dem Motorarbeitsregler noch ein Arbeitsregler für die Steuerdynamo verwendet; denn es ist außer der Feldregelung des Motors noch eine Spannungsregelung durch die Steuermaschine vorgesehen. Diese Steuerung wird ebenfalls durch Druckknöpfe oder durch eine Führerwalze betätigt.

Für Maschinen mit sehr hohen Drücken (über rd. 300 t) sind, soweit das Kurbelgetriebe nicht mehr in Betracht kommt, mechanische Getriebe mit gutem Wirkungsgrad noch nicht genügend bekannt, und es ist auch fraglich, ob derartige Getriebe mit einer einfachen hydraulischen Übersetzung, die nur während des Arbeitens unter Druck steht, wetteifern können, um so mehr, als bisher alle derartigen Maschinen als hydraulische Maschinen ausgeführt worden sind. Die hydraulische Übersetzung ist an sich auch nicht die Ursache für den schlechten Wirkungsgrad derartiger Maschinen, sondern die Ursache ist die Aufspeicherung des Druckmittels in Sammlern, oder aber, wenn dies durch Anordnung besonderer Treibapparate vermieden wird, die Anwendung von Dampf oder Druckluft zum Betriebe dieser Treibapparate.

Abb. 14 und 15. Getriebe einer Doppelspindel-Lochpresse mit Arbeitsregler-Antrieb. (TWL 2966)

Es ist nun ohne weiteres möglich, den Treibapparat statt mit einem Dampf- oder Druckluftzylinder mit einem Arbeitsregler-Wendereguliermotor anzutreiben; denn die bei den Treibapparaten in Frage kommenden Kräfte lassen sich durch mechanische Getriebe noch leicht erreichen. Der Vorteil dieser Betriebsweise ist in erster Linie der, daß die Maschine stets betriebsbereit ist, aber keinerlei Leerlaufverluste in den Arbeitspausen verursacht, dagegen der ganze Energieverbrauch im geraden Verhältnis zur geleisteten Werkarbeit steht.

Bei manchen Maschinen, besonders für Warmbearbeitung, kommt es darauf an, daß der größte Arbeitsdruck mit der größten Arbeitsgeschwindigkeit zusammen wirkt. In solchen Fällen ist natürlich der Geschwindigkeitsausgleich durch den Arbeitsregler-antrieb nicht anwendbar; denn dieser wirkt immer auf Verlängerung des größten Arbeitsdruckes. Soweit bei solchen Maschinen die Spitzenleistung die Ausgleichmöglichkeit der Kraftquelle übersteigt, müssen besondere Ausgleichmittel, wie Druckmittelsammler

bei hydraulischem Betrieb oder Schwungradformer bei elektrischem Betrieb, vorgesehen werden.

3. Walzmaschinen zum Richten und Biegen von Blechen und Stangen sowie zur Kaltbearbeitung. Die Beanspruchung von Richt- und Biegemaschinen verändert sich nicht nur durch den zu bearbeitenden Werkstoff, sondern auch durch den mittels der Anstellung der oberen Walzen hervorgebrachten Arbeitsdruck. Der Leistungsbedarf schwankt infolgedessen in sehr weiten Grenzen. Arbeitet der Hauptantrieb mit unveränderlicher Geschwindigkeit, so muß seine Leistung für die schwersten vorkommenden Arbeiten und seine Geschwindigkeit so bemessen werden, daß die Maschine auch bei leichteren Arbeiten noch leistungsfähig ist. Verwendet man dagegen einen Reguliermotorantrieb, so genügt es, die Leistung für die schwerste Arbeit bei einer sehr geringen Geschwindigkeit zu bemessen; denn die Geschwindigkeit kann dann bei leichteren Arbeiten auf das drei- bis vierfache gesteigert werden. Es ist bloß gefährlich, die Einstellung der Geschwindigkeit dem Bedienungspersonal zu überlassen, weil dann einerseits eine volle Ausnutzung der Maschine nicht erreicht wird oder Überlastungen nicht vermieden werden.

Der Arbeitsregler kann aber die Einstellung der richtigen Geschwindigkeit selbsttätig übernehmen, so daß man nicht nur Gewähr hat für beste Ausnutzung der Maschine, sondern auch gegen Überlastung des Antriebes geschützt ist. Da, wie bereits erwähnt, der Reguliermotor das beste Bewegungsumkehrmittel ist, so wird man natürlich mechanische Wendegetriebe bei derartigen Maschinen vermeiden. Zur Steuerung wird dann eine Wendegulierwalze oder aber eine Schützensteuerung mit Führerwalze benutzt. Druckknopfbetätigung ist bei solchen Maschinen weniger angebracht, weil der Arbeiter bei gewissen Arbeiten die Möglichkeit haben soll, die Geschwindigkeit auch willkürlich zu begrenzen, beispielsweise beim Einziehen des Arbeitstückes oder dergleichen.

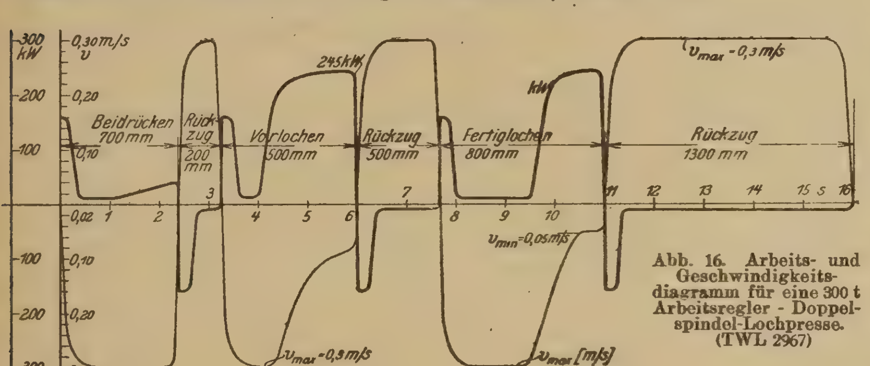


Abb. 16. Arbeits- und Geschwindigkeitsdiagramm für eine 300 t Arbeitsregler - Doppelspindel-Lochpresse. (TWL 2967)

Abb. 17 zeigt eine große Richtmaschine der Maschinenfabrik Klingelhöffer-de Fries, die auf der August Thyssen-Hütte im Betrieb ist und mit Arbeitsregler-Schützensteuerung sowie Führerkontrolle betrieben wird.

Bei Kaltwalzmaschinen wird durch den Arbeitsreglerantrieb eine volle Ausnutzung der Maschine bei verschiedenen Werkstoffdicken und Festigkeiten sowie Querschnittverminderungen selbsttätig erreicht, und es werden wieder Überlastungen vermieden. Der Rücklauf des Werkstoffes für wiederholte Streckung erfolgt selbsttätig mit der höchsten Geschwindigkeit. Ein- und Ausrückkupplungen sowie Umkehrgetriebe sind überflüssig; denn der Arbeitsreglermotor kann immer unmittelbar mit der Maschine gekuppelt und selbst gesteuert werden. Schneller Stillstand wird dabei durch die schon beschriebene selbsttätige Ankerkurzschluß-Bremsung erreicht.

Bei vielen Maschinen, z. B. Heißeisensägen, Radreifenwalzwerken usw. ist außer der Hauptbewegung eine dauernde Vorschubbewegung vorhanden. Solche Maschinen können auf gleichbleibende Leistung auch mittelbar, d. h. mittels des Vorschubes geregelt werden. Zum Vorschub dient in diesem Fall ein besonderer Gleichstrom-Reguliermotor, während für den Hauptantrieb ein mit gleichbleibender Drehzahl arbeitender Motor (Drehstrommotor) verwendet wird. Die Arbeitsregelung erfolgt in diesem Falle mittelbar, d. h. die in den Stromkreis des Hauptmotors eingeschalteten Arbeitsregler-Stromwächter wirken nicht auf den eigenen Motor, sondern auf den Vorschubmotor derart, daß die Vorschubgeschwindigkeit immer die größtmögliche ist, bis der Hauptmotor voll belastet wird. Dann verringert sich die Vorschubgeschwindigkeit in dem Maße, wie die Belastung des Hauptmotors steigt, bis endlich der Vorschub überhaupt aufhört. Sinkt dann die Belastung des Hauptmotors, so setzt der Vorschub wieder selbsttätig ein.

Die Einrichtung kann auch so getroffen werden, daß bei einer gewissen Überlastung der Vorschub nicht nur selbsttätig aufhört, sondern auch rückgängig gemacht wird, bis die Überlastung des Hauptmotors aufhört. Dieser Fall kann bei Sägen nützlich sein, bei denen ein Einklemmen des Sägenblattes vorkommen kann. Durch die mittelbare Arbeitsregelung bei Heißeisensägen wird es möglich, die bei hydraulischem oder Dampfvorschub unvermeidlichen höheren Überlastungen des Sägenmotors zu vermeiden und den Sägenmotor daher kleiner auszuführen. Dadurch ist es angängig, das Sägenblatt durch unmittelbare Kupplung mit dem Motor anzutreiben. Derartige Sägen mit unmittelbarem Drehstromantrieb und Arbeitsreglervorschub sind von Fried. Krupp A.-G., Grusenwerk, bereits ausgeführt worden.

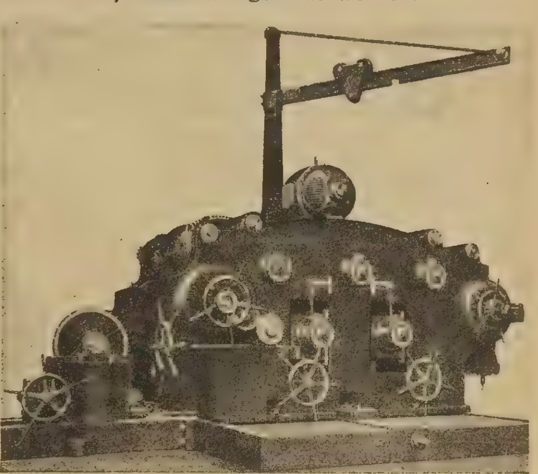


Abb. 17. Richtmaschine von Klingelhöffer-de Fries mit Arbeitsregler-Wendemotor (TWL 2968).

Eine weitere Anwendung des Arbeitsreglers ergibt sich für Radsatzdrehbänke mit Schablonensupporten. Diese Maschinen arbeiten weder mit gleichmäßiger Spandicke, noch mit gleichmäßigem Werkstoff. Dies trifft besonders für abgelaufene und stellenweise hart gebremste Radreifen zu. Man ist daher gezwungen, beim Abdrehen der Radreifen und Einstellung der Schnittgeschwindigkeit den an einer Stelle auftretenden größten Spanquerschnitt und die größte Härte zu berücksichtigen. Man wird deshalb an den übrigen Stellen nicht mit der größtmöglichen Geschwindigkeit arbeiten können, oder man wird die Antriebleistung und die Maschine überhaupt für zeitweise starke Überanstrengung einrichten müssen. Dabei kommt man bei modernen Radsatzdrehbänken schon auf Motorleistungen von 100 PS. Um aber mit bedeutend geringerer Motorleistung und trotzdem mit der gleichen Zeitdauer für das Abdrehen eines Radsatzes zu arbeiten, genügt es, einen Arbeitsregler zu verwenden, der die Geschwindigkeit an den kritischen Stellen selbsttätig ermäßigt, anderseits aber die Durchschnittsgeschwindigkeit erhöht.

4. Hebezeuge, Fördermittel, Bahnen. Es ist einleuchtend, daß der Arbeitsreglermotor auch bei Maschinen für Ortsveränderung Anwendung finden wird, schon deshalb, weil er bezüglich der selbsttätigen Geschwindigkeitsregelung dem Hauptstrommotor vielfach überlegen ist. Der Arbeitsregler wirkt schon beim Anfahren auf selbsttätige Beschleunigung mit vollem Strom, aber ohne Überlastung, so daß irgendwelche Aufmerksamkeit des Bedienenden entbehrlich ist.

Auf Gefällen wirkt der Arbeitsregler als selbsttätiger Nutzbremsregler, ebenso wie er bei Hebezeugen als selbsttätiger Senkbremsregler wirkt, derart, daß leichte Lasten mit der größten, schwere Lasten mit der geringsten Geschwindigkeit gesenkt werden. Ein Überschreiten der Höchstgeschwindigkeiten ist aber in keinem Falle möglich. Nachteilig auf diesen Gebieten ist aber, daß der Arbeitsreglermotor Nebenschlußfeldspulen hat, während man gerade hier seit langem gewohnt ist, mit Hauptstrommotoren zu arbeiten, und daher solche vorzieht. Die Vorteile des Arbeitsreglerantriebes sind aber auf diesem Gebiete so groß, daß sich die entgegenstehenden Bedenken wohl bald überwinden lassen werden.

CHRONIK 1923

(Fortsetzung von Seite 16).

Bergbau.

Der mit dem Ruhreinbruch der Franzosen und Belgier einsetzende passive Widerstand, der im September zum Erliegen kam, hat in dem größten deutschen Steinkohlenbezirk den Fortschritt in der Entwicklung der Bergbautechnik stark behindert. Erfreulicherweise sind aber während dieser Zeit in den übrigen Bergbaubezirken bei weiter fortgeschrittener Mechanisierung der Betriebe eine Reihe wesentlicher Neuerungen und Verbesserungen eingeführt worden, deren günstige Rückwirkung auf die Leistungen sich nicht nur in diesen Bezirken, sondern auch im rheinisch-westfälischen Bergbau um so mehr geltend machen wird, je mehr neben der notwendig gewordenen Erhöhung der Arbeitszeit auch mit einer allgemeinen Steigerung der Arbeitswilligkeit gerechnet werden darf.

Kraftwirtschaft In der Erzeugung, Verteilung und Auswertung der Kraftmittel haben die zunehmenden systematischen technischen Verbesserungen und die wissenschaftliche Betriebkontrolle wesentliche Ersparnisse und Vereinfachungen zur Folge gehabt; dazu sind zu rechnen: die Einführung geeigneter Gas- und Kohlenstaubfeuerungen, die Benutzung von Sonderrosten für die Verfeuerung von Schlamm und minderwertigen Kohlen, vereinfachte und zuverlässigere Beschickungs- und Entaschungsanlagen, elektrische und optische Rauchgasprüfer, zunehmende Verbreitung der Ruthsschen Wärmespeicher u. dergl.

Bei der ausgiebigen Verwendung von Druckluft wurden durch sorgfältigere Auswahl der erforderlichen Rohrquerschnitte und Rohrverbindungen sowie durch Vervollkommnung der Steuerorgane der Arbeitsmaschinen (z. B. der Haspel) neben gründlicherer Ausscheidung von Wasser und Ölen der Druckluftverbrauch erheblich verringert. In einzelnen Fällen belief sich der dadurch erzielte Minderbedarf auf 200 m^3 angesaugter Luft auf 1 t Förderung. Um dem fühlbaren Mangel eines für den praktischen Grubenbetrieb allgemein brauchbaren, einfachen Druckluftmessers zu begegnen, hat der Reichskohlenrat für ein geeignetes Meßgerät ein Preisausschreiben erlassen, das zahlreiche Bewerber gefunden hat.

Gewinnung und Förderung Bei dem maschinellen Schrämmaschinenbetrieb im Steinkohlenbergbau haben in den Abbauörtern außer den kleinen Kohlenschneidern (Bauart Westfalia) auch die großen Stangenschrämmaschinen mit Leistungen über 20 m^2/h weiterhin wachsende Bedeutung gefunden, während in den Aus- und Vorrichtungsbetrieben das Verwendungsgebiet der Abbauhämmer, der Preßlufthacke, der Bohrhämmer sowie der leichten Drehkolben- und Hammerbohrmaschinen an Umfang wesentlich zugenommen hat. Beim Kali- und Erzbergbau wurden durchweg auch im Berichtjahre die elektrischen Drehbohrmaschinen den vorgenannten Hilfsmitteln vorgezogen[1]).

Die in amerikanischen Gruben bereits vielfach eingeführten Strecken-Auffahrmaschinen haben auf deutschen Gruben, abgesehen von der im Versuchsbetrieb erfolgreichen Verwendung einer Strecken-Vortriebmaschine im oberschlesischen Steinkohlenbergbau und des sogenannten „eisernen Bergmannes" auf einer Kaligrube, noch keine nennenswerte Nachahmung gefunden.

Für die Abbauförderung haben sich in Oberschlesien und Niederschlesien zur Erhöhung der Leistungen und Verminderung des Druckluftverbrauches beim Rutschenbetrieb Hilfszylinder gut bewährt.

In den durch starken Gebirgsdruck ausgezeichneten Gruben Niederschlesiens sind beim Streckenausbau erstmalig Eisenbeton-Formstücke der Bauart Walter und Henkel mit bestem Erfolg eingeführt worden. Diese Ausbauart hat daher in kurzer Zeit auch in westfälischen Gruben weite Verbreitung gefunden.

Das maschinelle Zement- und Betonspritzverfahren[2]) hat sich sowohl zur Auskleidung und Isolierung von Grubenräumen, wie auch zum Schutze gegen Verrosten und Ausfressungen und als Schutzmittel gegen Selbstentzündung anstehender Kohlenmassen, zur Aufführung von Mauern und Branddämmen u. dergl. beim Grubenbetrieb erfolgreich eingeführt.

Braunkohlenbergbau Die Braunkohlenförderung hat die Steinkohlenförderung durch weitestgehende Leistungssteigerung besonders der Gewinnungsmaschinen und der Fördermittel überflügelt. Eimerkettenbagger mit schwenkbarem oberem Fahrgehäuse für Hoch- und Tiefbaggerung haben sich bereits hervorragend bewährt. An Stelle der Förderung mit Seil und Kette ohne Ende unter Benutzung kleiner Förderwagen hat die Förderung mit Großraumwagen und elektrischen Lokomotiven immer mehr Verbreitung gefunden. Die Versuche der unmittelbaren Verspülung der trocken gebaggerten Abraummassen vom Bagger aus in Rohren nach den abgebauten Tagebaufeldern sind auf einer rheinischen Braunkohlengrube von Erfolg begleitet gewesen.

Aufsuchen von Lagerstätten Die Bohrtätigkeit zum Aufsuchen von Erzen und Erdöl war vor allem in Mitteldeutschland sehr rege. Elektrische, graphitometrische und seismische Aufschlußverfahren erfuhren Verbesserungen. An Stelle der teuren Diamanten wird für Bohrkronen bei Tiefbohrungen vielfach Volomit verwendet.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 563, 593.
[2]) Z. Bd. 65 (1921) S. 1363.

Rettungswesen In allen Bergbaubezirken wurde die Einrichtung von Rettungsstellen für die Ausbildung und Bereithaltung von Rettungsmannschaften durch Benutzung der neuesten Hilfsmittel im Gerätebau, im Fahr-, Verkehrs- und Vermittlungsdienst weiter gefördert. Als Atmungsgeräte werden neuerdings die Geräte mit Selbstdosierung des Sauerstoffs durch die Lungenkraft an Stelle der bisherigen mechanischen Injektor-Dosiergeräte bevorzugt.

Aufbereitung Das Schwimmverfahren gewinnt für die Anreicherung von Erzen und Kohlen immer größere Bedeutung. Mehrere neue Schwimmaufbereitanlagen sind teils im Bau, teils im Betrieb. Zum Aufbereiten von Steinkohlen hat das Rheo-Waschverfahren im Aachener Revier mit gutem Erfolg Eingang gefunden, in Niederschlesien soll es auf mehreren Gruben zur Einführung gelangen.

Brikettierung Bei der großen Bedeutung, die die Braunkohlenbrikettierung für das deutsche Wirtschaftsleben hat, ist es verständlich, daß man auf diesem Gebiete nichts unversucht läßt, um die Leistung und Wirtschaftlichkeit von Brikettfabriken zu erhöhen[3]). Neben einer planmäßigen Überwachung der Wärmewirtschaft, einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Pressen und Trockeneinrichtungen hat man auf die möglichst weitgehende Rückgewinnung des Kohlenstaubes besonderes Augenmerk gerichtet. Zu der naß- und trockenmechanischen Staubrückgewinnung, die wesentliche Verbesserungen erfahren hat, gesellt sich neuerdings die elektrische Entstaubung.

Gesetzliche Bestimmungen Das am 23. Juli 1923 in Kraft getretene Reichsknappschaftsgesetz bildet den ersten Schritt auf dem Wege der versuchten Vereinheitlichung der Berggesetzgebung für das gesamte Deutsche Reich. Die preußische Polizeiverordnung über den Vertrieb von Sprengstoffen an den Bergbau vom 21. Januar 1923 versucht, der Verwendung ungeeigneter Sprengstoffe vorzubeugen.

Die Absicht, sämtliche staatlichen Bergwerke und Hütten Preußens in einer „Preußischen Bergwerks- und Hütten-A.-G." zusammenzufassen, ist durch die inzwischen erfolgte Umwandlung der staatlichen Gruben- und Hüttenverwaltungen im Oberharz zu einer Aktiengesellschaft bereits teilweise verwirklicht worden.

[M 2118] Tübben.

Brennstoffe.

Ruhreinbruch Die gesamte Brennstoffwirtschaft stand im Zeichen der Ruhrbesetzung, der mit dem passiven Widerstand wirksam nicht begegnet werden konnte; vielmehr führte er zu schweren politischen und wirtschaftlichen Gegenmaßregeln, die den Zusammenbruch Deutschlands beschleunigten. Die Geldknappheit hat die Kohlenknappheit überwuchert. Die Aufhebung der Kohlensteuer hat es nicht verhindern können, daß man englische Kohle billiger als deutsche Kohle kauft. Je höher die Inlandpreise stiegen, desto teurer wurden die Erzeugnisse, desto mehr schwanden die Aussichten für deren Ausfuhrmöglichkeit. Vorübergehende Vorteile brachte nur die Markentwertung, der sich die Löhne langsamer anpaßten, während die Braunkohlenbergwerke infolge des geringern Absatzes und der verspäteten, bereits entwerteten Eingänge kaum die Lohngelder zusammenbekommen konnten und daher die Belegschaften verringern mußten.

Steinkohlen Eine Besserung der Verhältnisse im Steinkohlenbergbau ist zu erreichen: durch Erneuerung von Anlagen (Ausbesserungs- und Instandhaltungsarbeiten), durch bessere Wärme- und Druckluftwirtschaft, längere Arbeitsdauer der Belegschaften zur Entlastung des Devisenmarktes. Sodann ist die Güte der Kohle zu verbessern, damit nicht zu viel Berge befördert werden müssen, die außerdem die Feuer verschlacken und ihren Nutzeffekt herabdrücken. Ähnlich verhält es sich mit der Anforderung an die Koksbeschaffenheit für Hochöfen und Kuppelöfen, durch die Leistung und Eisenqualität bedingt sind.

Teererzeugnisse Wegen Mangels an flüssigem Brennstoff wird der Teerdestillation mehr Aufmerksamkeit zugewandt (ununterbrochener Betrieb). Für die Benzolgewinnung kommen die Verfahren von Bayer (aus Leuchtgas mittels aktiver Kohle) und Dr. Raschig (Destillation des angereicherten Waschöls unter Vakuum) neuerdings in Frage.

Bedeutende Umwälzungen sind durch die Verwendung von Sauggasmotoren für Autobusse und Kleinlokomotiven zu erwarten.

Braunkohlen In der Braunkohlenwirtschaft lenkt die Brüdenabwärme-Verwertung nach einem von Prof. Gensecke ausgearbeiteten Verfahren[4]) die ganze Aufmerksamkeit auf sich, weil die dabei zu ersparenden dauernden Ausgaben in einem recht günstigen Verhältnis zu dem bei der Errichtung solcher Anlagen notwendigen Kapital stehen.

Die Feuertrocknung der Rohbraunkohle, die sich wegen des vom Oberbergamt in Halle a. S. erlassenen Verbots nicht entwickeln konnte, macht jetzt dank der Initiative der Büttner-Werke A.-G., Urdingen, mit Unterstützung des Stahlwerks Becker in Willich gute Fortschritte. Die Vortrocknung der Stückkohle ist unerläßlich, wenn die Ausbeute an Urteer groß sein soll. Bei mulmiger Kohle ist die

[3]) Z. Bd. 67 (1923) S. 872.
[4]) Z. Bd. 67 (1923) S. 249.

Gasgewinnung gering, der Teer unter Umständen wegen der Staubbeimengungen wertlos. Den besten Betrieb mit größter Ausbeute gewähren Preßkohlen, bei denen auch die Forderung nach Aufstellung des Gaserzeugers an der Grube entfällt. Aus diesem Grunde sind die teerreichen Brikette nicht dem Hausbrand, sondern den Vergasungsanlagen, die für Teergewinnung ausgerüstet sind, zuzuteilen. Wird die Wärmeeinheit im Teer dreimal so hoch bezahlt wie im rohen Brennstoff, beträgt ferner der Rohkohlenverbrauch für die Trocknung bei der Brikettierung etwa 33 vH, so ist die Vergasung von Preßkohlen — das gleiche gilt auch für vorgetrocknete Kohle — wirtschaftlich; die Teerausbeute 33 : 3 gibt 11 vH.

Die Vergasung der Rohbraunkohle hat weitere Fortschritte gemacht, indes befriedigen noch nicht die Durchsatzmengen.

Die Brennstaubfeuerung hat wegen der zunehmenden Kohlenknappheit an Bedeutung gewonnen, jedoch dürfte sich ihre Verwendung auf reine Kohlen- und Industriebezirke beschränken, wo Staub von Abfallkohle billig zu haben ist. Mit der Staubfeuerung lassen sich unabhängig vom Bezug guter Steinkohle hohe Temperaturen auch mit minderwertigen Brennstoffen erzielen, die zweckmäßig durch Abhitze vorgetrocknet werden können. Die Staubfeuerung bringt den Vorteil mit sich, das Warmhalten von Öfen während der Nachtzeit und größerer Pausen durch erneutes schnelleres Anheizen entbehrlich zu machen, als Zusatzfeuerung Spitzenleistungen auf sich zu nehmen und Arbeitskräfte zu ersparen. [M 2071] de Grahl.

Eisenhüttenwesen.

Die Entwicklung auf dem Gebiete des Eisenhüttenwesens läßt — rein äußerlich betrachtet — keine bedeutenden Fortschritte im letzten Jahre erkennen; das ist begründet durch die wirtschaftlichen und politischen Nöte der Zeit. Zahlreiche und größte Hüttenwerke sind zum Stillstand gekommen, neue Pläne und Gedanken konnten vielfach nicht verwirklicht werden. Um so mehr ist an der Durchbildung der Verhüttungsverfahren gearbeitet worden, und hier liegen hauptsächlich die Fortschritte der Erkenntnis und des Standes der Technik. Eine erfolgreiche wissenschaftliche Betriebsüberwachung einerseits und das Streben, trotz größter Schwierigkeiten gute Erzeugnisse zu erzielen, kennzeichnen diese Entwicklung.

Kokserzeugung Die Herstellung von Koks für den Hochofenbetrieb aus den in Deutschland zur Verfügung stehenden Kohlensorten veranlaßte nicht nur die planmäßige Untersuchung des Verkokungsvorganges vom Standpunkte des Chemikers, sondern erbrachte neuerdings die Erkenntnis von der Notwendigkeit, beim Ofenbau den Konstrukteur entscheidend mitreden zu lassen. Die Untersuchungen sind noch im Fluß, lassen aber schon erkennen, daß im Zusammenwirken beider erhebliche Fortschritte zu erzielen sind. Es sind daher in letzter Zeit bei Neubauten nicht wie früher Öfen grundsätzlich immer derselben Bauart erstellt worden, sondern solche, bei denen sich die Verkokungsfaktoren, wie Erhitzungsgeschwindigkeit, Verkokungstemperatur und Garungszeit, der Eigenheit der Kohlen anpassen. Vorläufig können allerdings diese Faktoren nur durch Großversuche annähernd ermittelt werden, ihre wissenschaftliche Erforschung wird zweifellos noch große Schwierigkeiten bereiten.

Hochöfen Das Streben, den Hochofen so zu betreiben, daß ein regelmäßiger, störungsfreier Ofengang gewährleistet wird, tritt immer mehr in den Vordergrund. Auf der einen Seite würde eine gleichbleibende Roheisenqualität entfallen, und der große Vorteil für den Stahlwerkbetrieb bestände darin, hochwertige Erzeugnisse mit Sicherheit herzustellen. Auf der andern Seite würden bei der gründlichen Gasausnutzung unsrer Betriebe die Lieferungsschwankungen erheblich abgeschwächt, die Gasverluste entsprechend vermindert werden können.

Aussichtreich erscheint ein von den Amerikanern angewendetes Mittel, dem Hochofen nur Beschickstoffe gleicher Stückgröße, hergestellt auf besonderen Brech- und Siebanlagen sowohl für Erz als auch für Koks, zuzuführen. Es steht fest, daß diese Maßnahmen eine Verminderung der Betriebstörungen, Einschränkung der Ofenstillstände, Erhöhung der Erzeugung und Verbesserung der Eisenbeschaffenheit zur Folge haben. Versuche, dieses Verfahren auch in Deutschland einzuführen, zeitigen technisch ebenfalls günstige Ergebnisse, bereiten aber wirtschaftlich erheblich größere Schwierigkeiten, weil die Erzgrundlage der deutschen Werke vielgestaltiger ist und die Vorbereitungskosten sich höher stellen müssen, als bei den einfacheren amerikanischen Betriebsverhältnissen. Es erscheint in diesen Fällen ein vom Verfasser vorgeschlagener Weg gangbar, die durch eine ungleichartige Beschickung hervorgerufenen Schwankungen des Ofenganges als unabänderlich zu betrachten und den stets wechselnden Wärmebedarf im Ofen durch entsprechend angepaßte Wärmeerzeugung auszugleichen.

Für den Hochofenbetrieb ist noch bemerkenswert, daß nun auch in Deutschland mehrere Hochöfen in Betrieb gekommen sind mit sehr großen Gestelldurchmessern und Rastwinkeln erheblich über 80°.

Stahlöfen Die Erforschung der Frischverfahren hat sich sowohl auf die weitere bauliche Ausbildung der Stahlöfen gerichtet, als auf die Erforschung des Chargenverlaufs selbst. Man hat insbesondere das Verhalten des Sauerstoffs während des Schmelzens und Frischens untersucht, ausgehend von der Erfahrung bei dem Unionverfahren, daß die richtige Bemessung des jeweils erforderlichen Sauerstoffs Einfluß auf die erzielbare Stahlgüte ausübt.

In baulicher Hinsicht sind sowohl die Ofenköpfe besonders beachtet worden, als auch die Gestaltung und Größe der Wärmespeicher. Da man auch heute noch nicht in der Lage ist, die Gesetze des Wärmeübergangs auf die Wärmespeicher in einer Berechnung zugrunde zu legen, ist man auf den praktischen Fall angewiesen und kann nur rückwärts rechnend die Abmessungen schon vorhandener Wärmespeicher mit gutem Wirkungsgrad bei Neuanlagen entsprechend berücksichtigen.

Walzwerke Im Walzwerksbetriebe versucht man neuerdings die Materialwanderung beim Walzen durch Kenntlichmachung der Seigerungen im Stabquerschnitt zu erforschen. Ferner hat man, gestützt auf die Erfahrungen einer guten Wärmewirtschaft, die Bauart der Wärmöfen in mancher Hinsicht verbessert: Verminderung der Strahlverluste durch Vorwärmung der Verbrennungsluft bei Öfen mit doppeltem Gewölbe, Ausnutzung der Abwärme durch Vergrößerung des Rekuperators. [M 2107] Diepschlag.

Metalle und Legierungen.

Das abgelaufene Jahr ist auch in bezug auf die Fortentwicklung der deutschen Metallkunde und Metalltechnik nicht erfreulich gewesen. Das rohe, kulturfeindliche Wüten der Franzosen im Ruhrgebiet hat alle schöpferischen Kräfte in so hohem Maße lahmgelegt, daß an all den zahlreichen Stellen, wo in Deutschland emsig an der Weiterentwicklung der Legierungskunst gearbeitet wurde, diese Arbeiten unter der Last der Bedrückungen im besetzten Gebiet und der Daseinssorgen im unbesetzten Gebiet gehemmt worden sind.

Legierungen So konnte es geschehen, daß im vergangenen Jahre sich keine einzige Legierung bis zur Einbürgerung in der Technik hat bringen lassen. Manche sind empfohlen worden, andre befinden sich in der Erprobung, aber keine hat im vergangenen Jahr eine wirklich praktische Einführung erleben können.

Lediglich auf dem Gebiet der Aluminiumlegierungen würde zu erwähnen sein, daß das Aludur, ein schwach legiertes magnesiumhaltiges Aluminium mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 32 m/Ω mm² und einer Festigkeit von 28 kg/mm² imstande zu sein scheint, sowohl mit reinen Aluminiumleitungen wie mit Aluminiumstahlseilen erfolgreich in Wettbewerb zu treten. Die Lötung von Aluminium hat einen Fortschritt erfahren dadurch, daß ein von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde veranstaltetes Preisausschreiben im Ergebnis feststellen konnte, daß es durch Anwendung eines geeigneten lithiumchloridhaltigen Flußmittels gelingt, mit den verschiedensten Metallen und Legierungen einwandfreie, d. h. festhaftende Aluminiumlötungen zu erzielen. Feststellungen darüber, welches unter den verschiedenen bekannt gewordenen Loten, mit einem solchen Flußmittel einwandfrei gelötet, die beste mechanische und chemische Widerstandfähigkeit ergibt, sind allerdings erst noch der Zukunft vorbehalten.

Feinbau der Metalle Die gerade in den letzten Jahren sich durchringende Erkenntnis, daß man durch geeignete Wärme- und mechanische Behandlung sämtliche metallischen Stoffe wohl ebenso weitgehend beeinflussen kann, wie durch Legieren, und die weitere Erkenntnis, daß diese Beeinflussungsmöglichkeiten aufs engste zusammenhängen mit den Umbildungen des Feingefüges und dem Gitterbau der einzelnen Metallkristalle, haben dazu geführt, daß die wissenschaftliche Forschung sich an allen Ecken und Enden diesem Problem zugewendet hat und uns fortgesetzt neue Ergebnisse zur Verfügung stellt. Hier wird sich schon in den nächsten Jahren der Erfolg bemerkbar machen, daß wir lernen, unser metallisches Material mit Zielsicherheit seiner höchsten erreichbaren Güte zuzuführen. Wir wollen auch hoffen, daß das kommende Jahr alle aussichtsreichen Legierungen zu jener Vollendung führen wird, die im letzt abgelaufenen Jahre durch die unseligen Zeitverhältnisse noch verhindert worden ist.
[M 2121] W. Guertler.

Gießereiwesen.

Fortschritte Es ist eine erfreuliche Tatsache, daß auch auf dem Gebiete des Gießereiwesens und insbesondere in bezug auf die Verbesserung der Gießereierzeugnisse dauernd große Fortschritte festgestellt werden können. Ein voller Beweis hierfür liegt auch in dem günstigen Ergebnis der vom Verein Deutscher Eisengießereien im August-September letzten Jahres in Hamburg veranstalteten Fachausstellung „Die Wissenschaft in der Gießerei".

Die Erfolge bezüglich der wirtschaftlichen Verarbeitung der Schmelz-, Form- und Hilfsstoffe in der Gießerei sowohl wie im Ausbau der verschiedenen Herstellverfahren für die Erzeugnisse in Gußeisen, Stahlguß, Temper- und Nichteisenmetallguß sind für das abgelaufene Berichtjahr als recht günstig zu bezeichnen. Ferner gelang es den Bemühungen der im technischen Hauptausschuß für das Gießereiwesen vereinigten Verbände, unter der Mitarbeit des Normenausschusses der deutschen Industrie die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiete des Gießereiwesens auch schnellstens in der Praxis des Betriebes auszuwerten.

Heiz- und Schmelzstoffe Der Mangel an Brennstoff hat auch die Gießereibetriebe zu immer sparsamerem Verbrauch an Kohlen und Koks geführt. Nicht nur in den Trockenkammern und Heizöfen, auch in den Schmelzöfen ist diese Erkenntnis zur vollen Auswertung gebracht worden, und die weitere Einführung der Schürmann-Schmelzöfen ist ein Beweis, daß der bisher als normal bezeichnete Gesamtkoksverbrauch von etwa 12 bis 15 vH im einfachen Schachtofen sehr wohl auf 8 bis 10 vH selbst bei geringerwertigen Schmelzkoks ermäßigt werden kann. Durch diese Koksersparnis wird auch die lästige Anreicherung des Gußeisens mit Schwefel günstig beeinflußt.

Entschwefelung und Eisenreinigung Dem durch den Verbrauch an minderwertigen Koks stärker auftretenden Schwefelgehalt im Gußeisen und Stahlguß wird durch die Anwendung einiger Entschwefelungsverfahren wirksam entgegengetreten. Für die Gußeisenreinigung hat sich insbesondere das Dürkopp-Luyken-Rein-Verfahren der Allgemeinen Brikettierungsgesellschaft Dr. Schumacher & Co., Berlin und Dortmund, als sehr brauchbar erwiesen. Hierbei wird eine dauernde Entschlackung des Ofenschachtes und gleichzeitig die Verarbeitung größerer Zusätze an Gußbrucheisen in der Eisenmischung, selbst für Qualitätsguß, ermöglicht.

Schmelzanlagen Die steigenden Ansprüche an die Güte der Gießereierzeugnisse erfordert auch die Verbesserung der Schmelzanlage. Der Gießereifachmann lernt immer mehr, auch den einfachen Schachtofen nicht nur als Umschmelzvorrichtung anzusehen, er bemüht sich vielmehr, durch sorgsame Bedienung der Anlage ein möglichst hochwertiges Gußerzeugnis bei weitgehender Treffsicherheit in der Zusammensetzung des erschmolzenen Eisens zu erzielen. Die Einführung des Schürmann-Ofens macht in der Eisengießerei weitere Fortschritte. Daneben wird auch der elektrische Ofen für die Herstellung von hochwertigem Gußeisen herangezogen. Der Ölfeuerung bleiben in der Hauptsache die Nichteisenmetall-Schmelzöfen vorbehalten, doch macht sich auch hier der Wettbewerb der elektrischen Schmelzöfen bemerkbar.

Die Vorteile des Schürmann-Ofens, der inzwischen wesentlich verbessert wurde, aber für kleine Schmelzmengen weniger in Frage kommt, liegen u. a. neben der sparsamen Ausnutzung der Schmelzkoks in der besseren Anpassung der Schmelzleistung bei notwendig werdenden größeren Tagesleistungen der Anlage. Die Untersuchungen über die Schmelzergebnisse im Schürmann-Ofen sind noch nicht abgeschlossen.

Formstoffe und Formverfahren Die Untersuchung der deutschen Formsande und der feuerfesten Ofenbaustoffe ist wohl zum Teil abgeschlossen, sie geht aber lebhaft weiter. Die Karten und Unterlagen über einige Gebiete der Formsandvorkommen liegen vor, so daß nunmehr eine wirtschaftliche Ausnutzung der Lagerstätten bei wesentlicher Frachtersparnis ermöglicht werden kann. Auf dem Gebiete der Formverfahren wird besonders der weiteren Verbesserung der Formmaschinen größte Aufmerksamkeit geschenkt. Hierbei findet auch der Ausbau und die Einführung der Rüttelformmaschinen steigende Beachtung.

Gleichzeitig wird auch die Formsandaufbereitung infolge der erhöhten Ansprüche an das Aussehen des Gusses immer gründlicher durchgeführt, so daß dementsprechend die Verfeinerung der Gußerzeugnisse lebhafter in die Erscheinung tritt. Das Gießen in Dauerformen für Gußeisen machte geringere Fortschritte, doch bleibt das Interesse für diesen Sonderguß bestehen. Wesentlich größere Bedeutung gewinnt der Fertigguß für Nichteisenmetalle.

Abfallverwertung Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit in der Gießerei wird in letzter Zeit auch nach Schlacken-Aufbereitanlagen verschiedener Bauart mit und ohne Magnetscheider für die Eisen- und Koksrückgewinnung lebhafter gefragt. In vielen Betrieben ist der Gewinn an Spritzeisen- und Koksabfällen aus den Rückständen des Gießereibetriebes recht erheblich.

Normung im Gießereibetrieb Durch die Schaffung eines besonderen Gießerei-Normenausschusses (Gina) sind neben den Stoffnormen für Gießereierzeugnisse auch Fachnormen für den Gießereibetrieb in Vorbereitung. Ohne Zweifel werden diese zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit in der Gießerei wesentlich beitragen. Hierbei seien auch die Bemühungen des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung erwähnt, die z. B. in der Frage der Beschaffung neuzeitlicher Fördermittel für den Gießereibetrieb von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind.

Ausbildung der Lehrlinge Nach den Anregungen namhafter großer Werke wird der Fachausbildung der Former- und Modelltischlerlehrlinge immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Hierbei kommen den Gießereien die vorbildlichen Lehrgänge des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen sehr zu statten; es steht deshalb zu hoffen, daß die Heranbildung eines tüchtigen Nachwuchses für das Formerhandwerk gesichert werden kann. Auch der Fachausbildung des Gießereileiters wird von den in Frage kommenden Hoch- und Mittelschulen auf Grund der Bestrebungen der Gießereiverbände größtes Interesse entgegengebracht. [M 2110] Joh. Mehrtens.

Fabrikbetrieb und Fabrikorganisation.

Mehr und mehr hat sich im Berichtjahre die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß es sich auf dem Gebiete der Fabrikorganisation und des Fabrikbetriebes weniger um die Lösung von einzelnen Aufgaben handelt, als daß der schließliche Erfolg davon abhängt, welcher Art die Einstellung des Leitenden und Maßgebenden gegenüber den im Betriebe tätigen Menschen, den Angestellten und Arbeitern, ist.

Die Grundlage der Organisation Die Wissenschaft der Fabrikorganisation wird nicht mehr dahin aufgefaßt, daß es genügt, nach Kenntnisnahme eines Betriebes die für ihn geeigneten Vordrucke auszuarbeiten, mechanische Hilfsmittel in ihn einzuführen, statistische und sonstige Tabellen über seine Ergebnisse und Leistungsfähigkeit auszuarbeiten, sondern daß das alles nur Mittel sind, um sich nach Möglichkeit die Erkenntnis der in diesem Betriebe sich abspielenden Vorgänge zu verschaffen und ein reibungsloses Ineinandergreifen der Arbeiten der einzelnen Abteilungen und Bureaus herbeizuführen. Das Wichtigste aber ist, die Grundgedanken des Leitenden in die Kreise der Mitarbeiter, vom Prokuristen bis zum Laufjungen, vom Betriebsleiter bis zum ungelernten Arbeiter, so hineinzutragen, daß sich in ihnen allen die Überzeugung Bahn bricht, es werde von oben herunter nach einem zweckmäßigen und bis in alle Einzelheiten durchdachten Plane zum Besten des Ganzen gearbeitet. So flaut denn mehr und mehr der Streit darüber ab, welches Organisations- oder Betriebsverfahren richtig ist. Man ist sich bewußt, daß, wenn auf irgend einem Gebiete, so auf diesem, das Wort gilt, „eines schickt sich nicht für alle“, und daß daher fast jede Art zu arbeiten im gegebenen Falle richtig sein kann.

Betrieb. Auf dem Gebiete des eigentlichen Fabrikbetriebes herrscht, vor allem in der Metallindustrie, das Bestreben, dem Austauschbau mehr und mehr Raum zu gewinnen. Das verdienstvolle Buch „Der Austauschbau“ (Band 1 der Schriften der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure), das von Dr.-Ing. Kienzle im Anschluß an die Vortragsreihe der Berliner Ortsgruppe der A. d. B. herausgegeben ist und eine Anzahl wertvoller Aufsätze hervorragender Fachleute auf den zugehörigen Gebieten enthält, hat in dieser Beziehung sehr anregend gewirkt. Vor allem dürfte sich die früher so stark verbreitete Ansicht, daß das Arbeiten nach Passungen zur Verteuerung der Fabrikation führen müsse, da man mit ihnen „zu genau“ arbeite, wohl endgültig durch die mehr und mehr in den Betrieben gemachten Erfahrungen als irrig erweisen.

Um den bedeutungsvollen Arbeiten des Normenausschusses der deutschen Industrie mit größerer Beschleunigung in den Kreisen unsrer Betriebsingenieure Eingang zu verschaffen, ist unter der tatkräftigen Leitung des Oberingenieurs Laßwitz (AEG) ein besonderer Arbeitsausschuß des NDI unter dem Losungswort „Einführung der Normen in die Praxis“ gebildet worden.

Der Versuch der Spezialisierung im Fabrikbetrieb auf einige wenige Typen ist durch die Not der Zeit zunächst nicht mit dem Erfolge vorwärts gekommen, den man ihm zum Vorteil der gesamten deutschen Industrie hätte wünschen mögen. Immerhin kann festgestellt werden, daß sich bedeutungsvolle Anfänge auch auf diesem Gebiete zeigen.

Die Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure erwarb sich ein besonderes Verdienst dadurch, daß sie die Kenntnisse über spanabhebende Werkzeuge und den Vorgang bei ihrer Arbeit vertiefte. Insbesondere sind hier die Untersuchungen von Hippler und Drescher zu erwähnen, deren Niederschlag in dem Hipplerschen Buche „Die Dreherei und ihre Werkzeuge“[1]) zu finden ist.

Schließlich kann als Bild des Fortschrittes, der sich auf dem Gebiete des Fabrikbetriebes wenn auch teilweise nur zögernd zeigte, die Betriebstechnische Ausstellung erwähnt werden, die im Laufe des Jahres, nach und nach erweitert und vertieft, an verschiedenen Orten Deutschlands besichtigt werden konnte.

Abrechnungswesen Auf dem Gebiete der eigentlichen Fabrikorganisation haben die verheerenden Folgen der Geldentwertung und die damit verbundene Verwirrung im Abrechnungswesen derartige Schwierigkeiten hervorgerufen, daß große Fortschritte, die auf diesem Gebiete gemacht waren, zum Teil wieder aufgegeben werden mußten. Bedeutungsvolle Stimmen wurden laut, die eine Nachkalkulation unter den Verhältnissen, unter denen wir zu leben gezwungen waren, überhaupt für zwecklos erklärten, und andere, die jene Verknüpfung der Nachkalkulation mit der Buchhaltung, wie sie in den letzten vorangegangenen Jahren erreicht war, entweder für unmöglich oder doch für so schwierig durchführbar erklärten, daß sie zum mindesten als unwirtschaftlich bezeichnet werden müßte. Demgegenüber sind die mannigfaltigsten Vorschläge aufgetaucht, die sich teils auf eine Nachkalkulation zum Tagespreis, teils auf eine solche zum Gold- oder schließlich zum Friedenspreis bezogen und eine Verknüpfung mit der Buchhaltung mit Hilfe von Verrechnungskonten vorschlugen. Es steht zu hoffen, daß der zurzeit sich vollziehende Übergang zur Goldmarkkalkulation diese Schwierigkeiten zum größten Teil beseitigen und der Industrie die Vorteile zurückgeben wird, die in den vorangegangenen Jahren durch die Klärung der Verhältnisse im Abrechnungswesen ermöglicht waren.

An bedeutungsvollen Veröffentlichungen ist, abgesehen von den zahllosen Aufsätzen in den Zeitschriften, die Neuausgabe des Peiserschen Buches „Die Betriebsrechnung“ (3. Aufl.) zu nennen. Dem Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung gelang es leider nicht, seinen „Grundplan der Selbstkostenberechnung“, neu durchgearbeitet und den veränderten wirtschaftlichen Verhältnissen angepaßt, in dritter Ausgabe herauszubringen. Er mußte sich entschließen, die zweite Fassung trotz der von mancher Seite laut gewordenen Widersprüche als unveränderten Neudruck erscheinen zu lassen, da die Nachfrage nach diesem Hilfsmittel seitens der Industrie außerordentlich groß war. Die gegen seine Arbeiten von bedeutungsvoller Seite (Schlesinger-Just) erhobenen Einwände, die im Märzheft der „Werkstattstechnik“ ihren besonderen Ausdruck fanden, wurden zum Teil in dieser Zeitschrift selbst (Melzer, Juniheft), zum Teil an andrer Stelle zu widerlegen versucht. Eine völlige Klärung ist jedoch nicht erreicht. Es ist zu hoffen, daß die Zukunft eine solche bringen wird. [M 2122]

Friedrich Meyenberg.

Maschinen und Apparate der chemischen Industrie.

Wirtschaftliche Folgen des Ruhreinbruchs Das im Anfang Januar 1923 einsetzende Ruhrunternehmen mit allen seinen Folgen hat auf die Entwicklung der chemischen Industrie im vergangenen Jahre eine Hemmung ausgeübt, wie kaum auf einen andern Industriezweig. Liegen doch die Hauptwerke der chemischen Großindustrie innerhalb des besetzten Gebietes und bei der

[1]) 3. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer.

gegenseitigen Abhängigkeit wurden auch die übrigen Werke im unbesetzten Deutschland sehr in Mitleidenschaft gezogen.

Infolge des immer stärker werdenden wirtschaftlichen Druckes, der Schwierigkeiten bei der Beschaffung der Rohstoffe und des Versandes der Fertigprodukte, der allmählich eintretenden Geldknappheit und der zeitweiligen Besetzung von Werken kamen neue Anlagen nur in beschränktem Umfange zur Aufstellung und viele aussichtsreiche Probleme und Neuerungen mußten wohl oder übel zurückgestellt werden. Soweit eine Durchführung des Betriebes überhaupt möglich war, wurde mit den vorhandenen Einrichtungen und Apparaten weitergearbeitet.

Die Stickstoffindustrie die augenblicklich in ihrer Hauptentwicklung steht, brachte im vergangenen Jahr ein neues Erzeugnis auf den Markt, dem man als Düngemittel wegen seines hohen Gehaltes an Stickstoff und der günstigen Wirkungen auf den Ackerboden sehr große Aussichten für die Zukunft verspricht, nämlich den synthetischen Harnstoff. Zur Erzeugung dieser chemischen Verbindung wurden ganz neuartige stehende Kompressoren, die in mehreren Stufen Gase auf rd. 120 at verdichten, in Betrieb genommen. Die zu verdichtenden Gase haben die Eigenschaft, daß sie bei Temperaturen unter 70 ° C und atmosphärischem Druck sofort ein festes Salz bilden, und man kann sich denken, daß bei derartigen Umständen die konstruktiven Schwierigkeiten sehr beträchtlich waren und Einrichtungen getroffen werden mußten, die sonst im Maschinenbau nicht zu finden sind. Der Antrieb erfolgt durch 1000pferdige liegende doppeltwirkende Tandem-Gasmaschinen. Die Fabrikation des oben erwähnten Düngesalzes hat in der Konstruktion und Ausführung von Kühlern, Druckgefäßen und sonstigen Apparaten in verschiedenen Metallen mancherlei Neuerungen gebracht.

Für die Erweiterung der bestehenden Stickstoffanlage sind zur Erzeugung von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren fünfstufige liegende Hochdruckkompressoren für eine Ansaugeleistung von rd. 10 000 m³/h eines Wasserstoff-Stickstoffgemisches im Bau. Diese Maschinen übertreffen hinsichtlich der Größenabmessungen alles bisher Dagewesene. Der Enddruck beträgt 250 at, der Durchmesser des Niederdruckzylinders 1500 mm. Angetrieben werden die Kompressoren durch Großgasmaschinen von je 3200 PS Leistung. Die Inbetriebnahme dieser Anlage sollte im Laufe des vergangenen Jahres erfolgen, nachdem die Maschinen fast fertiggestellt sind. Infolge der Ruhrbesetzung trat jedoch eine Verzögerung ein.

Vergasung von Rohbraunkohle Bei dieser Anlage hat man den bisher üblichen Dampfmaschinenantrieb verlassen und ist zum Gasmaschinenbetrieb übergegangen, nachdem man erkannt hat, daß die Ausnützung der zur Verfügung stehenden Rohbraunkohle auf diese Weise wirtschaftlicher gestaltet werden kann. Damit wurde aber die Lösung eines neuen Problems notwendig, und zwar die Vergasung äußerst mulmiger und weicher Rohbraunkohle im Gaserzeuger und die Reinigung der Gase von Teer, Staub und Schwefel. Auf diesem Gebiete liegen günstige Versuche vor, und es sind bereits größere Anlagen mit neuen Gaserzeugerkonstruktionen im Bau.

Gasreinigung Zur Reinigung von Gasen vom Schwefelgehalt unter Verwendung aktiver Kohle wurden ausgedehnte Anlagen für einen Gasdurchgang von über 200 000 m³/h errichtet und sind zum Teil mit gutem Erfolg in Betrieb genommen worden; ebenso Anlagen zum Auffangen von Dämpfen niedrig siedender Flüssigkeiten mittels aktiver Kohle.

Maschinen und Apparate verschiedener Art Bei den übrigen chemischen Industriezweigen sind wesentliche Neuerungen nicht zu verzeichnen. Bei der Vielseitigkeit der Apparaturen und Maschinenanlagen kommen zwar dauernd Änderungen und Verbesserungen vor, jedoch würde es zu weit führen, auf Einzelheiten einzugehen. Erwähnt seien hier neuere Konstruktionen an Zentrifugen, Mischapparaten, kontinuierlichen Filtern u. dgl. Auch sei darauf hingewiesen, daß es gelungen ist, Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen und Gebläse gegen chemische Angriffe, insbesondere Salzsäure, durch einen Überzug von Hartgummi zu schützen. Ja, man ist nun sogar dazu übergegangen, die Behälter von Kesselwagen mit einer Hartgummiauskleidung zu versehen, um die gebrechlichen Ton- und Glasgefäße zu vermeiden.

Erwähnt sei hier noch, daß bereits Kompressoren in ansehnlichen Abmessungen zur Erzeugung von Drücken bis zu 1000 at in Benutzung sind.

Bei der Gewinnung organischer Verbindungen auf katalytischem Wege unter Anwendung hoher Drücke sind bedeutende Fortschritte zu verzeichnen. Jedoch kann über die zur Anwendung kommenden Apparate und Maschinen noch nichts Näheres mitgeteilt werden. [M 2101] K. Eymann.

Kältetechnik.

Kältemaschinen Neue Gesichtspunkte sind nur insofern hervorgetreten, als von Amerika aus für die Verwendung von gewissen Kohlenwasserstoffen wie Pentan, Butan usw. eingetreten wird. Es wird ihnen eine höhere Wirtschaftlichkeit gegenüber Ammoniak und Kohlensäure auf Grund ihrer thermischen Eigenschaften nachgerühmt, außerdem greifen sie nicht wie Ammoniak Kupferlegierungen an, erleichtern also in mancher Beziehung die Herstellung von Armaturen. Eine praktische Bedeutung haben die neuen Kältemittel indessen noch nicht erlangt.

Die Bestrebungen, die Wärmeaustauschvorrichtungen zu vervollkommnen, werden fortgesetzt, ebenso die Bemühungen, den praktischen Bedürfnissen entsprechende Kältemaschinen kleinster Leistung zu schaffen.

Kälteverwendung Auf Grund der Erkenntnis, daß rasches Einfrieren von Fleisch und Fischen die Struktur der Gewebe viel weniger verändert als langsames Gefrieren, und auf Grund der vorzüglichen Ergebnisse, die das Einfrieren von Fischen in Salzlösung bestimmter Dichte nach dem Verfahren von Ottesen gezeitigt hat, ist man dazu übergegangen, nunmehr auch Fleisch durch Eintauchen in Salzlösung zu gefrieren. Plank und Kallert[1]) haben die Erscheinungen beim Gefrieren und Auftauen sorgfältig untersucht und sind zum Teil zu ganz neuen und überraschenden Ergebnissen gekommen. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Das Gefrieren von ganzen Rindervierteln, Hälften von Schweinen und Hammeln in Sole bietet keine technischen Schwierigkeiten und geht etwa achtmal so schnell vor sich wie in kalter Luft.

2. Gewichtverluste treten beim Einfrieren in Sole nicht auf, während sie beim Einfrieren in Luft nicht unerheblich sind.

3. Salz dringt nur in geringer Menge durch die Oberfläche des Muskelfleisches ein. Die Schwarte des Schweines sowie Fettschichten verhindern das Eindringen.

4. Der Kältebedarf beim Einfrieren in Sole ist von der Gefriergeschwindigkeit unabhängig und ist wesentlich geringer als bisher angenommen. Er beträgt nur 60 kcal/kg beim Übergang von + 15 ° C auf — 7 ° C, da nur 76 vH des im Fleisch enthaltenen Wassers ausgefroren wird. Der Rest des Wassers bleibt in der kolloidalen Substanz der Muskelfaser. (Beim Gefrieren in Luft wird mehr Wasser ausgefroren, das Fleisch also stärker getrocknet.)

5. Wie zu erwarten war, bilden sich beim raschen Gefrieren in der Faser viele kleine Eiskristalle, die das Aussehen des Fleisches nicht ändern. Beim langsamen Gefrieren bilden sich zwischen den Muskelfasern größere Eiskristalle, die die Fasern auseinanderdrängen und mit bloßem Auge sichtbar sind.

6. Beim Auftauen wird auch bei langsam gefrorenem Fleisch das ausgefrorene Wasser von der Muskelsubstanz wieder aufgenommen, jedoch nicht vollkommen. Die Rückbildung ist um so vollständiger, je langsamer das Fleisch auftaut.

Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Eisenbahnkühlwagen Die von der Reichsbahn eingestellten 300 mit Eiskühlung nach neuzeitlichen Gesichtspunkten versehenen Wagen sind dem Betrieb übergeben worden; sie haben sich bisher sehr gut bewährt, und zwar bei der Verfrachtung von Fischen und von frischem und gefrorenem Fleisch. Eine wissenschaftliche Prüfung der Wagen im Betriebe, die in Aussicht genommen ist, konnte noch nicht durchgeführt werden. Die Eignung des neuen Wärmeschutzmittels „Torfoleum“, einer eigenartig wasserabweisend getränkten Torfmasse, hat sich erwiesen, wenn ein abschließendes Urteil auch erst nach mehrjährigem Betriebe gesprochen werden kann.

Die neuen Wagen könnten viel größeren Nutzen für die Versorgung der Großstädte z. B. mit Milch haben, wenn in den beteiligten Kreisen größeres Verständnis für die Eigenart der Wagen und der Wille, die Organisation für deren Verwendung umzustellen, bestände. Hier ist noch sehr viel Arbeit zu leisten. [M 2055] M. Krause.

Gasindustrie.

Gasverbrauch Während der Gasverbrauch in Deutschland in den letzten Jahrzehnten schnell anstieg und z. B. in Berlin je Einwohner im Jahre 1900 79 m³, 1915 187 m³ und 1922 noch etwa ebensoviel betrug, ist er 1923 stetig, und zwar in der letzten Zeit um rd. ein Drittel gefallen, dies infolge der Stillegung vieler gasverbrauchender Betriebe und der geringen Kaufkraft der Bevölkerung. Auch der Markt für feste Brennstoffe, darunter das hauptsächliche Nebenerzeugnis der Gaswerke, für den Koks, hat sehr nachgelassen, wogegen gute Gaskohle nach wie vor schwer zu beschaffen ist. Bei dieser Sachlage ist es für die Gaswerke eine immer ernstere Aufgabe geworden, für die Gaserzeugung möglichst wenig Kohlen zu verbrauchen, um dadurch gute Sorten auswählen zu können und wenig Koks zu gewinnen. Bekanntlich ist für diese Zwecke dem Kohlengase Wassergas zuzusetzen, wobei ein Mischgas von gleichen Verwendungsmöglichkeiten wie das Kohlengas entsteht. Selbst im kohlenreichen England ist das kohlensparende Mischgas üblich geworden. Die Wärmeeinheit im Kohlengase verlangt nämlich bis zu 40 vH mehr Kohlen und läßt bis zu 100 vH mehr Koks auf den Markt bringen, als die Wärmeeinheit im gebräuchlichen Mischgas.

Gaserzeugungsöfen Das Bestreben, den Koksabsatz zu erleichtern, wird durch die neuzeitlichen Gaserzeugungsöfen, und zwar Vertikalretorten- und Kammeröfen unterstützt. Diese Öfen lassen aus der gleichen Kohle Koks gewinnen, der dem Hüttenkoks (Zechenkoks, Schmelzkoks) und dem englischen Koks gleichwertig ist und den zurzeit fehlenden westfälischen Koks ohne weiteres ersetzt. Die Tatsache ist auch insofern von Wert, als der sonst eingeführte englische Koks im Inland aus englischen Kohlen hergestellt werden kann, wobei der deutschen Wirtschaft auch die übrigen Erzeugnisse der Verkokung bzw. Entgasung, nämlich das Gas, der Teer, das Benzol und das Ammoniak zugute kommen.

Im übrigen mußten gegenüber den wirtschaftlichen Sorgen 1923 die Bedürfnisse der Gaswerke für technische Neuerungen zurücktreten.
[M 2108] R. Geipert.

(Fortsetzung folgt.)

[1]) Zeitschrift f. d. ges. Kälteindustrie Bd. 30 (1923) Nr. 1, 2, 3 und 7.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Maschinenwesen.

Bruch eines Zylinderdeckels.

In einer Großbrauerei wurde während des Betriebes der rückwärtige Deckel eines Ammoniakkompressors zertrümmert, wobei das Rückschlagventil versagte und das ganze in der Kühlmaschine befindliche Ammoniak aus einer Leitung von 65 mm l. W. bei 9 at Anfangsdruck in das Maschinenhaus strömte, das sofort mit Ammoniakdämpfen gefüllt war. Das Bedienungspersonal konnte sich nur durch schleunigste Flucht retten, und es ist wohl nur ein sehr glücklicher Zufall gewesen, daß kein Menschenleben verloren ging. Die mit dem Kompressor gekuppelte Dampfmaschine lief weiter, und man mußte im Kesselhaus die Dampfleitung absperren, um die Dampfmaschine zum Stillstand zu bringen.

Nach Verflüchtigung des Ammoniaks konnte man den Schaden besichtigen und feststellen, daß am rückwärtigen Ende des Kompressorzylinders einige Schrauben abgerissen waren; nach Abnehmen des Deckels fand man in diesem Eindrücke von dem gebrochenen Ventilteller des Rückschlagventils, wodurch sich auch das Nichtwirken des Rückschlagventiles erklärte. Die Ursache des Bruches konnte aber erst restlos geklärt werden, als der Maschinenmeister so nebenher erwähnte, er habe, um die Leistung der Kühlmaschine zu verringern, das rückwärtige Druckventil herausgenommen.

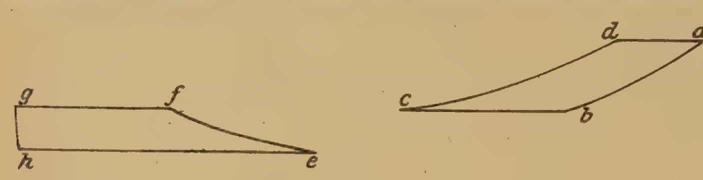


Abb. 1. Vorderes Abb. 2. Rückwärtiges
Diagramm bei arbeitendem Rückschlagventil.

Durch das Herausnehmen des hinteren Druckventiles wurde unbeabsichtigt aus dem doppeltwirkenden **einstufigen** ein einfachwirkender **zweistufiger** Kompressor. Die vordere Hälfte hatte ein normales Saug- und Druckventil und rd. 1 vH schädlichen Raum, während die rückwärtige Hälfte ein normales Saugventil, einen sehr großen schädlichen Raum, bestehend aus dem ganzen Inhalt des Druckrohres und des zum Ölabscheider führenden Bogenrohres hatte, und als Druckventil der rückwärtigen Hälfte diente das Rückschlagventil. Der schädliche Raum der rückwärtigen Hälfte betrug ungefähr 30 vH des Zylinderinhaltes.

Bei dem zweistufigen Kompressor, Abb. 1 und 2, expandiert auf der rückwärtigen Seite das Gas von *a* bis *b*, während gleichzeitig auf der vorderen Seite von *e* bis *f* verdichtet wird; bei *f* ist der Druck vorn genau so groß wie hinten bei *b*, das vordere Druckventil öffnet sich infolgedessen und das Gas wird unter gleichbleibendem Druck von vorn nach hinten geschoben, also in dem Hub *b* bis *c* oder *f* bis *g*

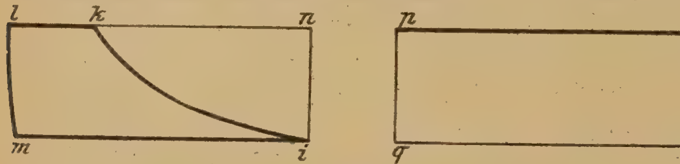


Abb. 3. Vorderes Abb. 4. Rückwärtiges
Diagramm nach gebrochenem Rückschlagventil.

außer der Reibungsarbeit keine Arbeit verbraucht. Nach dem Hubwechsel saugt der Zylinder vorn Ammoniak aus dem Verdampfer an, während er hinten von *c* bis *d* verdichtet und dann von *d* bis *a* das Gas in den Kondensator drückt. Das Rückschlagventil hatte hierbei die Arbeit des herausgenommenen Druckventiles übernommen und sich 75 mal in der Minute geöffnet und geschlossen. Dieser Beanspruchung war das Ventil nicht gewachsen, es zerbrach, und die Bruchstücke des Ventiltellers fielen in das Bogenrohr, das von dem Kondensator zum Zylinder führte. Nachdem das Ventil gebrochen war, arbeitete der Kompressor gemäß den Diagrammen Abb. 3 und 4, mit anderen Worten die vordere Kompressorhälfte ganz normal, während in der rückwärtigen Hälfte dauernd Kondensatordruck herrschte. Bei jedem Hub wurde also der ganze Kompressor mit Ammoniak aus dem Kondensator gefüllt und wieder entleert. Bei 250 mm Zyl.-Dmr., 420 mm Hub und 75 Uml./min ergibt das im Druckrohr eine Geschwindigkeit von rd. 24 m/s. Bei dieser Geschwindigkeit mußten selbstverständlich Ventilstücke im wagerechten Teil des Bogenrohres durch das Gas hin- und hergeschleudert werden, und hierbei gelangte ein Stück bis in den Kompressor hinein, blieb dort liegen und wurde beim nächsten Hubwechsel durch den Kolben an den Zylinderdeckel gedrückt, der brechen mußte.

Hätte der Maschinenwärter, um die Leistung zu vermindern, das hintere Saugventil herausgenommen, so wäre nichts geschehen. Das Diagramm dieser Hälfte hätte dann die ganze Zeit den Verdampferdruck angezeigt. Noch besser wäre es gewesen, das vordere Saugventil herauszunehmen, weil dann in der vorderen Hälfte dauernd Verdampferdruck geherrscht hätte und die Stopfbüchse entlastet worden wäre.

Bei herausgenommenem Druckventil nimmt der Kompressor auf dem Hub von *i* bis *k* außer der Reibungsarbeit nicht nur keine Energie auf, sondern er könnte sogar Energie entsprechend der Fläche *i-k-n* abgeben; auch auf dem Hub von *k* bis *l* wird weder Energie aufgenommen noch abgegeben, aber von *m* bis *i* hat der Kolben den vollen Unterschied zwischen Kondensator- und Verdampferdruck entsprechend der Fläche *o-p-q-r*, zu überwinden, was einen schlechten Ungleichförmigkeitsgrad ergibt und ohne sehr schweres Schwungrad zu stoßweisem Gang des Kompressors führen muß.

Man kann vom Maschinenwärter nicht verlangen, daß er die Vorgänge in einem Kompressor bis in die letzten Wirkungen verfolgen kann, wohl aber sollten Maschinenfabriken, welche Kühlmaschinen bauen, ihre Abnehmer aufmerksam machen, daß sie niemals mit herausgenommenem Druckventil arbeiten, sondern zum Vermindern der Leistung, wenn nichts andres geschehen kann, ein, und womöglich das vordere, Saugventil herausnehmen sollen. Zwar wird in der Literatur erwähnt, daß man zur Minderung der Leistung ein Saugventil herausnehmen kann, aber nirgends ist zu finden, daß das Herausnehmen eines Druckventiles schlecht und gefährlich ist.

[R 2013] Ing. Franz Wimbersky, Wien.

Neuer Wasserstand-Fernzeiger für Dampfkessel.

Die Schwierigkeiten beim Ablesen des Wasserstandes von Dampfkesseln haben sich bei den neueren Kesselanlagen mit hochliegenden Kesseltrommeln hauptsächlich dadurch gesteigert, daß man bisher daran festgehalten hat, den Wasserstandzeiger in der Höhe des wirklichen Wasserstandes im Dampfkessel anzubringen. Das in Abb. 5 schematisch dargestellte Gerät von Kelvin, Bottomley & Baird, Glasgow, das sich seit einem halben Jahre im Dalmarnock-Elektrizitätswerk der Stadt Glasgow gut bewährt hat, soll diese Schwierigkeiten dadurch vermeiden, daß der Wasserstandzeiger ohne Rücksicht auf die Höhenlage des Wasserstandes im Kessel stets auf der Heizersohle bequem abgelesen werden kann. Das Wasserstandglas ist ein U-Rohr *a*, worin beim Inbetriebsetzen des Gerätes durch Abschließen der Ventile *b* und Öffnen der Ablaufventile *c* eine gewisse Luftmenge unter Wasser abgesperrt wird. Wenn das U-Rohr und das Gehäuse mit Wasser gefüllt sind, schließt man die Ventile *c*, während man die Ventile *b* öffnet. Mittels der Leitungen *d* und *e* steht dann das Wasserstandglas mit dem Dampfraum und dem Wasserraum des Kessels in Verbindung. Die eingeschlossene Luft wird entsprechend dem Dampfdruck im Kessel verdichtet, und in den beiden Schenkeln des U-Rohres stellt sich das Wasser so ein, daß der Unterschied dieser Wasserstände genau dem Unterschied zwischen dem Anschluß des Rohres *d* an den Kessel und dem wirklichen Wasserstand entspricht. Um die Höhenlage des Dampfanschlusses festzulegen, führt man den Dampf der Leitung *d* über eine mit Kühlrippen versehene Kammer *f* zu, worin sich stets Kondensat niederschlägt und durch eine Art Überlaufwehr zurückgehalten wird. Dadurch wird der hydrostatische Druck im Rohr *d* unveränderlich erhalten. Der Überschuß an Kondensat läuft durch den Rohranschluß *g* wieder in den Kessel zurück.

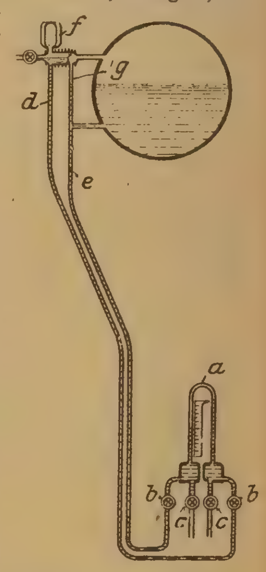


Abb. 5. Schema des Wasserstand-Fernzeigers von Kelvin, Bottomley & Baird.

Das Gerät hat den Vorteil, daß die Rohrleitungen zwischen Dampfkessel und Wasserstandzeiger gleichmäßig kühl bleiben, weil darin kein Wasserumlauf herrscht, und daß auch die Anzeige des Wasserstandes von Temperaturschwankungen im Dampfkessel nicht beeinflußt wird. Damit man bei jeder Druckänderung im Dampfkesel den Ablesemaßstab nicht zu verschieben braucht, um den Unterschied der Wasserstände in den beiden Schenkeln des U-Rohres zu bestimmen, kann man den einen Schenkel aus Metall und mit wesentlich größerem Durchmesser herstellen, so daß Schwankungen des Wasserstandes im engen Schenkel keine wesentliche Änderung des Wasserspiegels im weiten Schenkel zur Folge haben. [R 1992]

Neue Längsschleifmaschine.

Das Bestreben, die teure und langsame Hobelarbeit durch billigere Verfahren zu ersetzen, hat, wie wir der Zeitschrift „Machinery“ vom Februar 1923 entnehmen, zum Entwurf der nachstehend beschriebenen Längsschleifmaschine der Reed Prentice Co., Worcester, Mass., geführt.

Der Grundgedanke der Gestaltung stammt von der Hobelmaschine, nur fehlt die Umschaltung für den schnellen Rückgang, da in beiden Richtungen gearbeitet wird, und an Stelle der Hobelsupporte ist der Antrieb für die Schleifscheibe eingebaut. Die Maschine ist für die schwerste und sperrigste Arbeit gedacht. Der hin- und hergehende Tisch ist 4,5 m lang, der lichte Durchlaß im Ständer beträgt 500 mm, die Höhe zwischen der Oberkante des auf dem Tisch angebrachten magnetischen Spannfutters und der Unterkante der Schleifscheibe 250 mm. Der Tisch wird auf die bei Hobelmaschinen übliche Art angetrieben mittels

Stirnrädervorgeleges und Zahnstange mit zwei Geschwindigkeiten zum Schruppen und Schlichten, die Umsteuerung wird durch Anschläge bewirkt. Beim Schruppen läuft der Tisch mit 10 m/min.

Auf dem Querträger des Ständers ist das Gehäuse für den Schleifmotor eingebaut, der 25 PS leistet und am unteren Ende seiner Welle die Schleifscheibe von 510 mm trägt, die topfförmig gestaltet und durch eine feste Verkleidung geschützt ist. Der Querträger hat Grob- und Feineinstellung in senkrechter Richtung, die durch ein unteres und ein oberes Handrad am Ständer betätigt werden. Die Tischoberfläche ist in sechs einzelne magnetische Spannfutter geteilt; zu ihrer Unterstützung und zur Sicherung der Aufspannung beim Aussetzen des Stromes sind zwischen ihnen und an den Tischenden verstellbare Anschlagleisten vorhanden, die das Werkstück gegen den Druck der Schleifscheibe auch seitlich sichern. Besonderes Augenmerk ist auf den Spritzschutz verwandt. Ein Mantel aus Eisenblech umgibt den ganzen Tisch und den unteren Teil des Schleifmotors bis dicht unter den Durchgang des Querträgers. Auf diese Weise wird das Spritzwasser vom Arbeiter und von den Antriebstellen der Maschine ferngehalten. Es fließt am rückwärtigen Ende des Tisches durch ein Rohr in den unter Flur liegenden Sammelbehälter und wird von dort durch eine Pumpe der Schleifscheibe in zwei Leitungen so zugeführt, daß diese von außen und innen bespült wird. [M 2102] Br.

Eisenbahnwesen.

Die erste Drillingslokomotive in Amerika

ist kürzlich für die New Central RR. von der American Locomotive Co. gebaut worden. Es ist ein 2 D 1-Fahrzeug mit Hilfsmaschine für die Schleppachse, sogenanntem „booster", was ihre Verwendung für schnelle Güterzüge ermöglicht, obgleich Lokomotiven dieser Achsanordnung sonst nur im schweren Personenverkehr verwendet werden, besonders wenn sie, wie hier, große Räder von 1750 mm Dmr. haben.

Den Betriebserfahrungen mit dieser Lokomotive sieht man mit Spannung entgegen, weil in Amerika Innenzylinder nicht gebräuchlich sind und bei den Betriebsleitern auf Widerstand stoßen werden. Man hat trotzdem den Schritt zur Drillingslokomotive getan, weil selbst innerhalb der weiten amerikanischen Umgrenzungslinie zwei Zylinder außerhalb einer Rahmenseite nicht mehr unterzubringen sind, und die gleichförmigere Zugkraft der Drillingslokomotive eine stärkere Ausnutzung des Reibungsgewichtes zuläßt.

Die Steuerung des Innenzylinders besteht aus wagerechten Übertragungshebeln in der auf der englischen Nordbahn üblichen Anordnung. Der rechte und der innere Zylinder sind in einem Stück gegossen. Der Überhitzer enthält nur weite Siederohre einheitlichen Durchmessers, die in der Mehrzahl mit Überhitzerrohren besetzt sind. Der Speisewasservorwärmer wird mit Abdampf geheizt und liegt, wie in Amerika üblich, oben auf der Rauchkammer vor dem Schornstein. Die Hauptabmessungen der Lokomotive, zu der ein sechsachsiger Tender mit 67 m³ Wasser und 16 t Kohle gehört, sind folgende:

Zyl.-Dmr.	635	mm
Kolbenhub	711	„
Rad-Dmr. der Triebachsen	1750	„
„ „ der Drehgestellachsen	837	„
„ „ der Schleppachse	1140	„
Dampftrieb	14	at
Kessel-Dmr.	2030	mm
Kessellänge zwischen den Rohrwänden	7600	„
Siederohr-Dmr., außen	89	„
Heizfläche der Feuerbüchse	26	m²
„ „ Siederohre	530	„
Verdampfende Heizfläche	556	m²
Heizfläche der Überhitzer	232	„
Gesamte Heizfläche	788	m²
Rostfläche	7,4	„
Gewicht auf den Treibachsen	107	t
„ „ dem Drehgestell	30	„
„ „ der Schleppachse	27	„
Dienstgewicht	164	t

[M 2045] F. M.

Elektrische Zugförderung auf den Staatseisenbahnen in Java.

Wir entnehmen aus einem Bericht von Dr.-Ing. de Gelder in der Zeitschrift des holländischen Ingenieurvereines 1923 Nr. 36 folgendes über die Elektrisierung der Staatseisenbahnen in Niederländisch-Indien. Vorläufig kommen aus Sparsamkeitsgründen nur die Stadt- und Ringbahn von Batavia und die Strecke bis zum benachbarten Hafen Tandjongpriok in Betracht. Der dazu erforderliche Kraftbedarf beläuft sich durchschnittlich auf 4300 PS mit einer Leistungsspitze von 12 000 PS. Als Stromquelle dient zunächst ein Wasserkraftwerk, das mit einer vorhandenen Wassermenge von 10 m³/s eine mittlere 24stündige Leistung von 7500 PS, gemessen an der Turbinenwelle, entwickelt. Der Spitzenbedarf wird durch einen Speicherweiher gedeckt. Bei weiterem Ausbau steht noch ein zweites Kraftwerk zur Verfügung, wodurch die durchschnittliche Leistung auf 10 000 PS und die Spitzenleistung auf mehr als 30 000 PS gesteigert wird. Das Kraftwerk erzeugt Drehstrom von 70 000 V, der den beiden von der AEG und der General Electric Co. in der Nähe von Batavia zu errichtenden Umformerwerken durch eine etwa 90 km lange Leitung zugeführt wird. Für den Vollbahnbetrieb hat man Gleichstrom von 1500 V gewählt, um dadurch die Bahnstromlieferung mit der Industrieversorgung in Zusammenhang bringen und den Ortsverkehr mit Motorwagen betriebsicher durchführen zu können.

Die von den Siemens-Schuckert-Werken nach den Entwürfen der Niederländisch-indischen Staatsbahnen hergestellte Fahrleitungsanlage hat einen gesamten Kupferquerschnitt von etwa 350 mm². Sie besteht aus einer Doppelleitung von 2 × 107 mm², die an einem hartkupfernen Speisekabel von 150 mm² Querschnitt aufgehängt ist.

Für den Ortsverkehr dienen Motorwagen von 42 t Dienstgewicht bei einer Spurweite von 1067 mm. Aus einem Motorwagen und einem 23 t schweren Anhänger werden Zugeinheiten zusammengestellt. Da jede Motorwagenachse von einem 125pferdigen Motor angetrieben wird, beträgt das Reibungsgewicht 42 t oder 65 vH des gesamten Zuggewichtes. Bei einer elektrischen Lokomotive von 67 t Dienstgewicht und 300 t durchschnittlichem Anhängegewicht werden nur 52 t oder 14 vH als Reibungsgewicht ausgenutzt. Die auf das Zuggewicht bezogene Leistung beträgt bei den Triebwagenzügen 7,7 PS/t, bei einer 67 t schweren elektrischen Lokomotive von 1200 PS, berechnet für ein höchstes Anhängegewicht von 450 t, nur 2,5 PS/t.

Die Einrichtung der Motorwagen entspricht der der amerikanischen Überlandwagen. Sie bestehen aus einer ganzen Abteilung 2. oder 3. Klasse mit Quersitzen und umlegbaren Rücklehnen. Für eine gute Beleuchtung und Lüftung ist gesorgt. Die Türen werden selbsttätig durch Druckluft geöffnet und geschlossen. Die Steuerung ist nach der Anordnung mit selbsttätiger Weiterschaltung eingerichtet, wonach die mit dem Fahrschalter eingestellte Geschwindigkeit ohne weiteres Zutun des Führers erreicht wird.

Die durchgehenden Schnell-, Personen- und Güterzüge werden über die Stadt- und Ringbahnlinien durch Gleichstromlokomotiven befördert. Die teils gebirgige, teils ebene Geländegestaltung war von Einfluß auf die Wahl der Lokomotivart. Um bei zukünftiger weiterer Ausdehnung des elektrischen Betriebes über die nötige Erfahrung zu verfügen, hat die Verwaltung der Niederländisch-indischen Staatseisenbahnen die nachstehenden drei Lokomotivbauarten für Gleichstrombetrieb gewählt:

1) Personen- und Güterzuglokomotive mit der Achsanordnung 1 B + B 1. Sie gehört zu der Lokomotivbauart mit Straßenbahnaufhängung der Motoren. Ihre Vorteile sind höchst einfacher Bau mit niedrig angeordneten, leicht abnehmbaren Motoren und geringe Unterhaltungskosten. Sie entwickelt bei einer geringen Höchstgeschwindigkeit eine große Zugkraft und eignet sich dadurch am besten als Personen- und besonders als Güterzuglokomotive für die Stadt- und Ringbahnen Batavias und in Zukunft auch für die Strecke Batavia-Buitenzorg mit Gefällen von 6,6 vT, teilweise von 12,5 vT. Als Nachteil ist anzusehen, daß man gezwungen ist, die Motoren mit dem Übersetzungsgetriebe innerhalb des Rahmens unterzubringen, wodurch die Leistung einer Triebachse bei 1 m Spurweite und dem geringen zulässigen Achsdruck mehr beschränkt ist als bei den andern Bauarten. Die Hauptangaben für die Ausführung sind: Anzahl der Motoren 4, höchste Geschwindigkeit für Personenzüge 75 km/h, für Güterzüge 50 km/h, Gesamtleistung 1200 PS, Gesamtlänge 14,3 m, Triebachsdruck 13 t, Gesamtgewicht 69 t, Reibungsgewicht 52 t, Zugkraft 6000 kg. Das verhältnismäßig geringe Gewicht der schnellaufenden Motoren ist zum großen Teil federnd auf dem Lokomotivgestell gelagert. Der elektrische Teil wird von Westinghouse, Heemaf, der mechanische Teil von Werkspoor, Amsterdam, gebaut.

2) Schnellzuglokomotive (1 A-A A-A 1). Für die durchgehenden Schnellzüge nach dem Innern Javas eignet sich die unter 1) genannte Lokomotive ihrer geringeren Geschwindigkeit wegen weniger gut. Dafür wurde die 1 A-A A-A 1-Lokomotive mit Einzelachsenantrieb der Bauart Büchli gewählt. Dieser Antrieb ermöglicht, wie alle elektrischen Lokomotiven ohne Stangenübertragung, gute Kurvenläufigkeit und höhere Geschwindigkeit (schon für eine Geschwindigkeit von 140 km/h für Japan konstruiert). Die Motoren sind hoch und federnd gelagert; sie haben eine federnde Zahnradübertragung und noch eine zweite Übertragung über zwei kurze, bewegliche Kuppelwellen zwischen Trieb- und Zahnrad. Als Vorteile dieser Bauart werden angegeben: hochgelegener Schwerpunkt, große Übersichtlichkeit, Einschließung des Übersetzungsgetriebes in einem Ölbad, bequeme Beseitigung von Störungen durch leichtes Loskuppeln der in Frage kommenden Triebachse, Möglichkeit des Gebrauches von Radreifen verschiedener Querschnitte. Die Laufachsen dieser Lokomotive sind je mit der nächsten Triebachse zu einem Drehgestell vereinigt. Konstruktionszahlen: Anzahl der Motoren 4, höchste Geschwindigkeit 90 km/h, Gesamtleistung 1510 PS, Gesamtlänge 12,6 m, Triebachsdruck 12,5 t, Gesamtgewicht 65 t, Reibungsgewicht 50 t, Zugkraft 6100 kg. Als Nachteil gilt, daß diese Lokomotivart sich weniger für die Gebirgstrecken eignet; sie ist eine ausgesprochene Schnellzuglokomotive für die Ebene. Erbaut: elektrischer Teil von Brown, Boveri & Cie., mechanischer Teil von der Lokomotivfabrik Winterthur.

3) Schnellzuglokomotive (1 B + B 1). Diese mit Stangenantrieb ausgeführte Lokomotive der sogenannten Gotthardbauart beseitigt die Nachteile der unter 1) und 2) genannten Lokomotiven. Die Antriebvorrichtung gestattet, wenn in Zukunft nötig, den Einbau größerer leistungsfähigerer Motoren; sie ist wahrscheinlich die beste Schnellzuglokomotive für die Gebirgstrecke Javas, kann aber auch durch ihre allgemeine Verwendbarkeit auf andern Linien in der Ebene benutzt werden und hat den Vorteil einer größeren Leistung bei geringem Achsdruck. Die Motoren sind niedrig angeordnet und wirken mittels Zahnradübertragung und Blindwelle. Anzahl der Motoren 4, höchste Geschwindigkeit 90 km/h, Gesamtleistung 1725 PS, Gesamtlänge 13 m, Triebachsdruck 12,5 t, Gesamtgewicht 65 t, Reibungsgewicht 50 t, Zugkraft 8500 kg. Diese Lokomotiven werden von der AEG gebaut. [M 1991]

Schiffs- und Seewesen.

Die amerikanische Feuerung ist nicht besser!

In der amerikanischen Zeitschrift „Marine Engineering & Shipping Age“ vom Februar 1923 ist ein Artikel erschienen über eine Verbesserung an der Feuerungsanlage der Kessel des früheren Dampfers „Amerika“ der Hamburg-Amerika-Linie; diese Verbesserung soll eine Kohlenersparnis von rd. 465 t auf einer Rundreise Bremerhaven-New York-Bremerhaven herbeigeführt haben.

Die Änderung ist aus Abb. 6 und 7 ersichtlich; Abb. 6 zeigt die deutsche Anordnung, Abb. 7 die von dem amerikanischen Fuel Conservation Committee vorgenommene Änderung. Bei der neuen Anlage ist der Rost rd. 225 mm kürzer, und statt der aufgemauerten Feuerbrücke ist eine solche aus besonders geformten Roststäben vorgesehen.

Zu dieser letzteren Feuerbrücke ist zu bemerken, daß sie auch vor dem Krieg in Deutschland schon unter dem Namen „Sturrock-Rost“ bekannt war. Eine andre, denselben Zweck verfolgende Konstruktion, bei der die Feuerbrücken- und Roststäbe aus einem Stück hergestellt sind, wurde in Deutschland unter dem Namen „Riegen-Rost“ verwendet. Was die in der deutschen Anordnung dargestellte Abdeckung des Raumes zwischen den beiden Feuerbrücken anbetrifft, so ist diese aus der im Bordbetrieb gemachten Erfahrung heraus entstanden. Der Raum zwischen den beiden Feuerungen hinter der Feuerbrücke füllte sich bald mit Flugasche und halbverbrannter Kohle, weil die Heizer das Feuer mit der Krücke über die Feuerbrücke hinwegschoben und zum Teil sogar die Kohle bei der Bedienung des Feuers über die Brücke hinwegwarfen. Auf diese Weise war der Raum bald mit Flugasche und halbverbrannten Kohlen ausgefüllt, die bei etwa eintretender Kesselleckage zu einer festen Masse zusammenbackten, so daß sie bei der Kesselreinigung mit Hammer und Meißel losgebrochen werden mußten. Um diesen Übelstand zu vermeiden, wurde die gezeichnete Abdeckung vorgenommen, da die Heizfläche ja doch bald ohnehin verloren war.

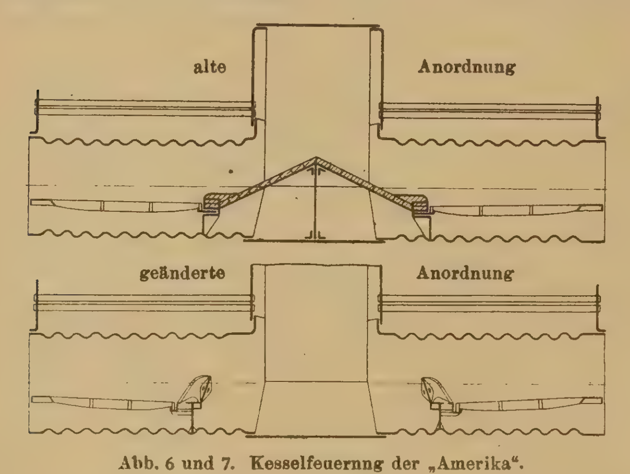


Abb. 6 und 7. Kesselfeuerung der „Amerika“.

Es ist daher unerfindlich, daß mit dieser einfachen Änderung eine so große Kohlenersparnis erzielt werden kann, und wenn gesagt ist, daß diese Ersparnis gegenüber den früheren Reisen eingetreten ist, so können unmöglich die Reisen gemeint sein, die das Schiff gemacht hat, als es noch im Besitz der Hamburg-Amerika-Linie war. Leider gibt der erwähnte Artikel hierüber keinen besonderen Aufschluß; es sind nicht die einzelnen Reiseverbräuche und Vergleichzahlen, sondern die Ersparnisse auf drei Rundreisen mit insgesamt 1400 t angegeben.

Die nachstehend aufgeführten Vergleichzahlen lassen aber ohne weiteres erkennen, daß das Schiff jetzt auch nicht günstiger fährt als früher bei der Hamburg-Amerika-Linie. Aus der früheren Zeit ist als Durchschnittswert aus etwa 90 Reisen folgendes ermittelt worden:

Tiefgang	28′ 6″
Geschwindigkeit	16,8 kn
Umlaufzahl	80 Uml./min
Kohlenverbrauch	270 t/Tag.

Das Schiff fährt jetzt für die United States Lines, und der leitende Ingenieur ist angewiesen, mit nur 74 Uml./min zu fahren. Nach einer Mitteilung von vertrauenswürdiger Seite hat die Geschwindigkeit auf der letzten Reise entsprechend der verminderten Umlaufzahl 15,6 kn bei einem Kohlenverbrauch von 245 t/Tag betragen. Rechnet man die Geschwindigkeit des Schiffes, als es noch im Dienst der H.-A.-L. stand, auf die letztere Geschwindigkeit um, so ergibt sich bei einem unveränderten Hilfsmaschinenverbrauch von 34 t/Tag ein Gesamtkohlenverbrauch von $(270-34)\left(\frac{15,6}{16,8}\right)^3+34=224$ t/Tag. Demnach ist der Kohlenverbrauch des Schiffes bei der H.-A.-L. günstiger gewesen, als er heute ist; um so mehr, wenn berücksichtigt wird, daß es leichter ist, einen wirtschaftlichen Betrieb und vollkommene Verbrennung zu erhalten, wenn die Anlage weniger angestrengt wird. Früher bestand die Anweisung, aus dem Schiff ohne Rücksicht auf Wirtschaftlichkeit der Kesselanlage an Geschwindigkeit herauszuholen, was nur irgend möglich war. [2060]

Hamburg. Goos.

Das Reno-Verfahren für Wrackhebung.

Mannigfache Verfahren sind für die Hebung und Bergung von Wracks benutzt worden. Heben durch Ketten und Trossen, Auspumpen, Einpumpen von Preßluft, Heben durch Schwimmkasten, durch Gewichtverschieben, ja sogar einen Fangdamm hat man schon benutzt. Die Bergungsgesellschaft muß sich nach den gegebenen Verhältnissen richten. Kann der Auftrieb des Schiffes zu Hilfe genommen werden, und liegt ein Schiff für den Taucher nicht zu tief, so geht die Bergungsarbeit im allgemeinen leicht von der Hand. Liegt ein Schiff in zu flachem oder zu tiefem Wasser, so ist die Bergung schwieriger und oft unmöglich.

Die Bergung von Schiffen, die in großen Tiefen liegen, ist durch den Krieg eine Zeitfrage geworden. Man ist ihr auf verschiedene Weise näher gegangen, wobei es jedoch immer darauf ankommt, den Arbeitern den Aufenthalt in großen Tiefen zu ermöglichen. Ein Weg ist hierbei, die Taucherrüstung so auszubauen, daß sie sehr hohen Beanspruchungen gewachsen ist. Hierbei entstehen jedoch große Schwierigkeiten, da die schweren Panzerstücke eine freie Bewegung des Tauchers behindern und ihn bald ermüden.

Ein zweiter Weg ist von J. W. Reno eingeschlagen worden; er benutzt einen mit Rücksicht auf die Widerstandsfähigkeit nahezu kugelförmigen Arbeitsraum, der nach Art eines Kampfwagens mit Raupengetriebe fortbewegt wird. Dieses Arbeitsgerät dient dazu, Löcher in die Außenhaut des Schiffes zu bohren, an denen unten offene, zylinderförmige Schwimmer mit Ketten befestigt werden. Die Schwimmer erhalten ihren Auftrieb durch Preßluft. Sie werden durch eine am Arbeitsgerät befindliche Winde heruntergezogen, so daß die Bergearbeit vom Seegang unabhängig wird. Auch das Einhaken der Schwimmerketten geschieht vom Arbeitsraum aus mit Hilfe besonderer Hebel. Der gedachte Arbeitsgang ist schon vor längerer Zeit in amerikanischen Patentschriften erläutert worden, eine praktische Erprobung wurde kürzlich mit einem Schiff von 500 t Verdrängung durchgeführt. („The Engineer“ Bd. 86 2. November 1923) [M 2046] Dr. W. S.

Elektrotechnik.

Entwicklung der Hochspannungskabel in Amerika und Europa.

Nach einem von G. A. Shanklin und dem gemeinsamen Ausschuß amerikanischer Kraftwerkvereinigungen und Industriewerke ausgearbeiteten Berichte[1]) hat das allgemeine Bestreben nach Erhöhung der Betriebspannung und Leistung auch bei der Kabelherstellung große Fortschritte gezeitigt. Während Dreifachkabel bisher nur für Spannungen bis 33 kV in Betrieb kamen, plant man neuerdings die Verlegung solcher Kabel für 44 kV. In Deutschland (Berlin) wurde 1912 bereits ein 30-kV-Dreileiterkabel, in England probeweise sogar ein 66-kV-Kabel verlegt. Einfachkabel werden dagegen, namentlich auf dem europäischen Festland, für Spannungen bis 60 kV benutzt; 1911 wurde ein solches bereits probeweise in Deutschland verlegt, und seit dem Jahre 1914 sind Einfachkabel in Italien für 40 kV, in Spanien (Barcelona), in der Schweiz (St. Gotthardbahn) für 50 kV und zuletzt in Paris (Gennevilliers-Kraftwerk) für 60 kV und 60 km Länge in Betrieb genommen worden. In Amerika sollen gegenwärtig Einfachkabel für 66 kV auf einer 25 km langen Strecke an den Großen Seen verlegt werden.

Versuche mit 80 kV-Einfachkabeln wurden in letzter Zeit in Italien, in Amerika sogar mit solchen für 132 kV durchgeführt. Hinsichtlich der Verlegungsart werden in Europa im Boden verlegte, in Amerika dagegen in Röhren verlegte Kabel bevorzugt, deren Spannung und Leistung jedoch durch die Rohrabmessungen und schlechtere Wärmeabfuhr begrenzt erscheint.

Dreileiterkabel für höhere Spannungen weisen eine geringere Durchschlagfestigkeit bei Papierisolation auf; ihre Verwendung bei Rohrverlegung ist schon bei 33 bis 44 kV nicht mehr zweckmäßig. In England werden Dreileiterkabel in offener Verlegung bevorzugt, da die eingegrabenen Kabel einen Stahlpanzer brauchen, der höhere Verluste bedingt. Immerhin haben Einfachkabel eine Reihe von Vorteilen, wie gedrängterer Aufbau, geringere Dicke, einfachere Verbindungen, geringere Kosten und Beanspruchung bei Kurzschlüssen sowie geringere Isolations- und Mantelverluste; ihre Verwendung erscheint infolgedessen namentlich bei hohen Spannungen gerechtfertigt.

Die Anforderungen zur Erzielung einer hohen Durchschlagfestigkeit bei Papierkabeln sind vollkommene Trocknung der Papier- und Füllmasse; Blasen, Lücken und Fasern in Querrichtung dürfen nicht vorhanden sein. Das Verhältnis zwischen Betriebs- und Durchschlagspannung soll in Amerika einheitlich mit 1 : 3 bis 1 : 4 festgelegt werden und sich auch auf die Normung der Prüfspannung erstrecken. Neuerdings wird die Prüfung mit hochgespanntem Gleichstrom zur leichteren Feststellung von Fehlerstellen in Erwägung gezogen.

Bezüglich der Erwärmung der Kabel ergeben sich nach dem Bericht des englischen Ausschusses folgende Temperaturgrenzen für im Boden verlegte Papierkabel: Deutschland und Frankreich 50 °C bei 25 ° bzw. 10 ° Bodentemperatur, England 65 °C bei 15 ° Bodentemperatur, während in Amerika die Regel (85 — E) °C für Rohrkabel gilt, wobei E die Betriebspannung in kV bedeutet. Das Verhältnis der Übertemperaturen bei Verlegung im Boden und an der Luft schwankt zwischen 1,04 und 1,13 für Spannungen von 22 bis 33 kV, bei Verlegung in Rohren und an der Luft unter gleichen Bodenverhältnissen zwischen 0,94 und 0,98, je nach der Kabeldicke. Die Frage der Erwärmung durch Kurzschlüsse erscheint noch nicht genügend geklärt. [M 2008] Rb.

[1]) Vergl. General Electric Review Juli 1923 und „Elektrotechnik und Maschinenbau“, Wien, 1923 Bd. 41 S. 587.

BÜCHERSCHAU.

Die Bücher und Zeitschriften können durch den Verlag des Vereines deutscher Ingenieure, G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Technische Thermodynamik. Vierte Auflage. Zweiter Band: **Höhere Thermodynamik.** Von Prof. Dipl.-Ing. W. Schüle. 509 S. mit 228 Textabb. und 5 Tafeln. Berlin 1923, Julius Springer. Preis Gz. geb. 15.

Genau um ein Viertel seines Umfanges vermehrt liegt W. Schüles Lehrbuch der höheren technischen Thermodynamik in vierter Auflage vor uns. Die Erweiterung des Werkes rührt im wesentlichen her von der Aufnahme eines großen neuen Hauptabschnittes „Chemisch-Physikalische Zustandsänderungen", in dem in Analogie zu den physikalischen Zustandsänderungen die Vorgänge mit Dissoziation behandelt sind, z. B. das Verhalten eines Gemisches aus CO_2, CO und O_2 oberhalb 1200°. Besonders verdienstvoll ist die Berechnung von Entropietafeln der dissozierenden Kohlensäure für 1000 bis 3000° und 0,1 bis 25 at mit Kurven konstanten Dissoziationsgrades von 0,1 bis 60 vH und des Feuergases des Kohlenstoffes bis zu 40 at und 90 vH Dissoziation. Hierdurch ist ein weiteres wichtiges Hilfsmittel für den praktischen Thermodynamiker geschaffen.

Außerdem ist eine Anzahl neuer Kapitel auf den verschiedensten Gebieten hinzugekommen, z. B. über die Zustandsgleichungen von Eichelberg und von Wohl, über die spezifische Wärme der Luft bei hohem Druck und tiefer Temperatur mit einem vom Verfasser nach Bradley und Hales Versuchen berechneten Diagramm, über die Hochdruckdampfmaschine von Schmidt, über die Zerlegung der flüssigen Luft in Sauerstoff und Stickstoff (ein früher sehr vermißtes Kapitel) und über genauere zahlenmäßige Bestimmung der thermodynamischen Vorgänge in der Holzwarth-Gasturbine.

All dies in der einfachen und gründlichen Darstellung, die man bei Schüle gewohnt ist. Durch Studium der neueren Literatur und eigene Ideen treibt er sein Werk bei jeder Neuauflage vor bis zum letzten Stand der Wissenschaft und Technik. [B 2012] Max Jakob.

Die neuzeitlichen Formmaschinen. Eine kurzgefaßte gemeinverständliche Darstellung von W. Häntzschel. Berlin 1922, Otto Elsner, Verlagsgesellschaft m. b. H. Grundpreis 1.

Wie im Vorwort ausgeführt, soll das Heftchen Meister, Former und Lehrlinge mit dem Wesen der Maschinenformerei bekannt machen; diesem Zweck dürfte es im großen und ganzen entsprechen, während es dem mit der Fachliteratur der letzten Jahre bekannten Gießereimann kaum etwas Neues bietet. Bemängelt müssen die Abbildungen werden, die fast ausnahmslos den Katalogen der bekannten Gießereimaschinenfirmen entnommen und weder einheitlich noch gleichwertig sind. Der Verfasser will nur von jeder Hauptbauart einige bewährte Beispiele bringen. Diese Absicht hat er aber keineswegs durchgeführt. So fehlen z. B. die elektrischen Formpressen ganz, ebenso die Zugrüttler, auch ist nicht erfindlich, weshalb der Rüttler von Leber & Broese ungewöhnlich eingehend beschrieben ist, während der mindestens ebenso verbreitete stoßfreie Rüttler der Badischen Maschinenfabrik ziemlich kurz abgetan wird. Bei den Maschinen mit Dauerformen ist dem Verfasser ein Irrtum unterlaufen, sie wurden in Deutschland erstmalig nicht 1921 von Wasseralfingen, sondern von Hans Rolle in Stahl u. Eisen 1912 Heft 30 u. f. der Öffentlichkeit bekannt gegeben und von den Ardelt-Werken-Eberswalde gebaut. Auch beim Durchlesen dieses Buches kann man wie so häufig bei technischen Abhandlungen die Beobachtung machen, daß der Stil den Genuß des Lesens beeinträchtigt. Die vielen Inversionen, die ja leider im kaufmännischen Schriftverkehr scheinbar nicht auszurotten sind, sollten besonders in einem technischen Buch, das sich in erster Linie an einen Leserkreis richtet, dessen Sprachausdruck sowieso schon zu wünschen übrig läßt, unbedingt vermieden werden.

Es wäre zu wünschen, daß der Verfasser bei einer Neuauflage seines Werkchens hierauf besonders achten möchte. Trotz allem kann man dem Werkchen bei seinem geringen Preise eine recht große Verbreitung bei der Facharbeiterschaft wünschen; es trägt dann wohl dazu bei, daß diese sich endlich entschließt, die in ihren Kreisen noch vielfach bestehende Abneigung gegen die Formmaschine aufzugeben. [B 2083] U. Lohse.

Theorie der Durchströmturbine. Von E. Sonnek, Ingenieur. Berlin 1923, Julius Springer. 55 S. mit 24 Abb.

Als Durchströmturbine wird die unter dem Namen Bánki-Turbine bekannte Freistrahlturbine bezeichnet, weil sie als außen beaufschlagte Radialturbine das Laufrad ganz, d. h. den Schaufelkranz nicht nur von außen nach innen, sondern auch wieder von innen nach außen, durchströmen läßt.

Nach Aufstellung der allgemeinen Grundlagen wird die von Bánki selbst veröffentlichte Theorie (Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1918) in vereinfachter Weise entwickelt, dann ein nach dieser Theorie gebautes Rad berechnet und auf seine Verluste hin, auch wieder rein rechnerisch, untersucht.

Dabei weist der Verfasser darauf hin, daß infolge der Vernachlässigung der Schaufeldicke durch Bánki am Laufradeintritt ein Überdruck vorhanden ist (dessen Größe er allerdings nicht ganz einwandfrei berechnet) und dadurch ein nicht unbeträchtlicher Spaltverlust zwischen Leit- und Laufrad entsteht. In seiner eigenen Theorie, die Sonnek derjenigen von Bánki gegenüberstellt, wird die Dicke der Laufradschaufeln berücksichtigt und der Spaltverlust dadurch vermieden, daß der Leitradstrahl in seiner axialen Breite durch in ihrer Dicke berechnete Wände soweit unterteilt wird, daß sich das Wasser nach seinem Eintritt in das Laufrad ausbreiten kann und die Turbine dann tatsächlich als Freistrahlturbine arbeitet. Gleichzeitig werden günstige Bedingungen für die Umfangsgeschwindigkeit des Rades und die Geschwindigkeitsdiagramme aufgestellt sowie eine Schaufelform angegeben, die von der kreiszylindrischen Form Bánkis abweicht.

Bei der Bestimmung des Wirkungsgrades vermisse ich die Verluste, die bei jeder Freistrahlturbine mit Ausnahme der Becherturbine dadurch entstehen, daß ein Teil des in das Laufrad eintretenden Wassers nicht richtig abgelenkt wird, sondern frei zwischen die Schaufeln eintreten kann und deshalb mit Stoß auf sie auftrifft. Bei dem zweimaligen Eintritt des Wassers in das Laufrad kommt dieser Verlust bei der Bánki-Turbine zweimal vor und vergrößert sich bei geringer Schaufelzahl, die Sonnek — im Gegensatz zu Bánki — bei seiner Radkonstruktion benutzt. Der Schluß der Druckschrift enthält einige kurze Angaben über das Anlaufmoment, die Leerlaufdrehzahl und das Anwendungsgebiet der Bánki-Turbine.

Die Arbeit ist wertvoll, weil sie die Theorie dieser neuen Turbine weiter ausbaut. Sie ist aber keineswegs erschöpfend und läßt noch viele Fragen offen, die allerdings fast durchweg nur durch Versuche geklärt werden können. So kann man das Verhältnis der Strahldicke zum Laufraddurchmesser nur durch Versuche bestimmen, und da davon weiterhin die erreichbare spezifische Drehzahl abhängt, dann erst die Verwendungsmöglichkeit der Bánki-Turbine sicher umgrenzen.

Obschon die Bánki-Turbine nun schon seit einigen Jahren von verschiedenen Firmen gebaut wird, sind bisher außer den ersten Versuchen von (dem inzwischen verstorbenen) Bánki selbst noch keine einwandfreien Bremsergebnisse in der Öffentlichkeit bekanntgeworden. Es ist aber bei der Wichtigkeit der bestmöglichen Ausnützung aller, selbst unserer kleinsten Wasserkräfte, recht erheblich, daß darüber schnellstens Klarheit geschaffen wird, wozu vielleicht auch der Verfasser als Oberingenieur der Gesellschaft für Wasserwirtschaft in Österreich, die sich meines Wissens mit dem Bau und dem Vertrieb der Bánki-Turbine befaßt, beitragen kann. [B 2081] Fr. Oesterlen.

Fabrikbauten. Von W. Franz, Geh. Reg.-Rat u. Professor, Berlin. Handbuch der Architektur, IV. Teil, Heft 5. Leipzig 1923, J. M. Gebhardts Verlag. Gz. 14.

Ein lehrreiches Buch für Architekten, welche sich im Industriebau umschauen wollen, ist erschienen. Es behandelt in bester Form die baulichen Bedürfnisse der Nahrungsmittelindustrie, der Faserstoffbearbeitung, der Maschinenfabrikation und vieles andre, was damit zusammenhängt. Im ersten Kapitel sind es die Gebäudeformen aller Gewerbebetriebe, im zweiten der innere Ausbau von Fabriken, im dritten die Betriebseinrichtungen: Transmissionen und Vorgelege, Heizung und Lüftung, sowie Wohlfahrtsanlagen, im vierten die Verkehrsmittel und Förderanlagen, im fünften einzelne Arbeitstätten: Gießerei, Schmiede und mechanische Werkstätten. Dann kommt im sechsten Kapitel, was besser vorangestellt wäre, das Allgemeine, wie Wahl des Baugrundstückes, Stellung der Gebäude und vorzügliche Beispiele, und zuletzt Fabriksiedlungen. Leider fehlen in dem Werke noch wichtige Gebiete des Industriebaues, vor allem Fabrikanlagen zur Versorgung mit Wasser, Gas und Elektrizität, Kessel und Maschinenhäuser, sowie überhaupt die Bauten für Krafterzeugung in der Fabrik. Infolgedessen fehlt auch der Schornsteinbau, Wassertürme, Abwasserbeseitigung bzw. -klärung sowie das unterirdische Zubehör einer Fabrik. Bei Besprechung des Fußbodenbelags fehlt der Asphalt, nach meiner Erfahrung das Zweckmäßigste mit wenigen Ausnahmen, während Steinholzfußböden mit größerem Vorbehalt hätten angeführt werden müssen. Die schwierige bauliche Anordnung der maschinentechnisch ausführlich behandelten Fördereinrichtungen, z. B. der fahrbaren Auslegerkrane, ist unberührt geblieben, obschon sie ungemein wichtig für die Gestaltung der Wände sind. Die 30 m-Kurven, bei denen die Reichsbahnwagen mit ihren Spurkränzen auf der äußeren verbreiterten Schiene laufen, sind, soweit mir aus jüngster Zeit bekannt, leider noch nicht allgemein zugelassen, sind also noch nicht handbuchreif.

Abgesehen von diesen Lücken ist das Werk im ganzen ein hervorragender Teil des Handbuches der Architektur. Es gibt in Wort und Bild eine Sammlung, welche einen ausgezeichneten Überblick über die Gebiete, welche der Verfasser berührt hat, gewährt, und bringt zahlreiche architektonische Musterbeispiele.

Für den Ingenieur und besonders für den Bauingenieur ist das Buch nicht ergiebig genug. Nach meinen langjährigen Erfahrungen bis in die heutige besonders schwierige Zeit, wo die Wahl der Bauart und der Baustoffe und die Rücksicht auf die Baugrundtragfähigkeit bei Wahl des Fabrikgrundstückes am Wasser von wirtschaftlich durchschlagender Bedeutung ist, liegt der Fabrikbau in großem und neuzeitlichem Ausmaß dem Bauingenieur am nächsten. Die Fragen des Grundbaues und der statisch-konstruktiven Ausbildung, des Eisenbahn- und Wasserbaues mit all ihren Einzelheiten wurzeln tief im Bauingenieurwesen. Auch die wirtschaftlichen Fragen (sogar die bautechnische Verteilung von Stützen und Decken im Geschoßbau) und die Betriebs-Fragen, überhaupt alle Vorfragen großer Industrie- und Fabrikbauten, liegen dem Bauingenieur weit näher als irgend einem andern technischen Berufe. In vielen Fällen, wo ich bei Unfällen und Mängeln schwieriger Ausführungen mit herangezogen worden bin, habe ich die Wahrnehmung gemacht, daß es von vornherein zweckmäßiger gewesen wäre, den maschinentechnisch vorgebildeten Betriebsingenieur mit dem Bauingenieur, der natürlich auch

den Einzelheiten der Hochbautechnik nahestehen muß, zusammenwirken zu lassen und den Architekten zur Bearbeitung der äußeren Architektur gegebenenfalls so früh als möglich heranzuziehen, aber nicht, wie vielfach geschieht, den Betriebsingenieur mit dem Architekten entwerfen zu lassen und den Bauingenieur gar nicht oder dann erst zu holen, wenn es wirtschaftlich und technisch zu spät ist. Solange der Industrie- bzw. Fabrikbau nicht im Handbuch für Ingenieurwesen entsprechend behandelt ist, wird dem Ingenieur das Franzsche Buch dennoch eine sehr willkommene Literaturquelle sein. [B 2064] Karl Bernhard.

Chemische Technologie des Steinkohlenteeres. Von Dr. Weißgerber. Leipzig 1923, Spamer. Preis geh. Gz. 5,20, geb. 7,30.

Dieses Werk, das unter besonderer Berücksichtigung der Kokerei und der Theorie der Teerbildung geschrieben ist, zeichnet sich durch gute Übersichtlichkeit, Vollständigkeit und gediegene Kritik aus. Es trägt dem neuzeitlichen Stande durchaus Rechnung, indem es die neuen theoretischen Anschauungen der Steinkohlenbildung, der Phenolreduktion und der Urteergewinnung ebenso wie die neuesten technischen Erfahrungen auf dem Gebiete der Teerverarbeitung berücksichtigt, die der Verfasser wohl aus eigener Praxis genau beurteilen kann. Da auch über die Verwendung und Verwendungsmöglichkeit der Destillate, über Statistik und maschinelle Einrichtungen alles Notwendige in klarer, knapper Form gesagt ist, so ist dieses Buch wie kein zweites geschaffen, dem Kokereifachmann, dem Destillateur und auch dem Chemiker in diesen Betrieben, überhaupt allen an Steinkohlenteer Beteiligten als Handbuch zu dienen. [B 1999] Tr.

Der Wärmefluß in einer Schmelzofenanlage für Tafelglas. Von Dr.-Ing. Maurach. München 1923, R. Oldenbourg. Preis Gz. 5.

Bei dem außerordentlichen Mangel an ausführlichen und in allen Punkten kontrollierbaren wärmewirtschaftlichen Versuchen und Rechnungen an Öfen ist diese ausführliche Arbeit besonders zu begrüßen. Ganz abgesehen davon gründet sie sich durchaus auf die technisch vollkommensten neuzeitlichen Meßverfahren, jede Berechnung ist kritisch ausgewertet, und auf alle bisher in der Literatur bekannten Forschungen, die zu Vergleichen und Auswertungen Anlaß geben, ist Rücksicht genommen, so daß die Abhandlung geradezu als ein Musterbeispiel für die Aufstellung von Wärmebilanzen bei Öfen angesprochen werden kann, wenn auch der Verfasser den Ausdruck Wärmebilanz wegen der Unvollständigkeit seiner Untersuchungen vermieden wissen will. Jedenfalls eine der gediegensten Arbeiten auf wärmetechnischem Gebiet! [B 2001] Tr.

Kompendium der höheren Analysis. Von O. Schlömilch. 6. Aufl., bearbeitet von Dr. A. Kneser. I. Bd. 619 S. mit 91 Abb. Braunschweig 1923, Fr. Vieweg & Sohn, Akt.-Ges. Preis Gz. 16.

Das trotz seines Alters besonders von Dozenten geschätzte Kompendium der höheren Mathematik von Schlömilch ist in der vorliegenden sechsten Auflage neu bearbeitet worden, um es mit den strengen Methoden der modernen Analysis in Einklang zu bringen, soweit es mangelhafte Konvergenzbeweise und allzu kühne Betrachtungen über das Unendlichkleine enthielt. Es soll damit besonders auch dem Ingenieur zu einem zuverlässigen Führer werden, wenn er schwierigeren Ableitungen in seinem Fachgebiet folgen will.

Geschichte der Elementar-Mathematik. Von Dr. J. Tropfke. Berlin und Leipzig 1923, Walter de Gruyter & Co. 185 S. Preis Gz. 7,5.

Die Enzyklopädie der Mechanik. Von Dr. techn. A. Lechner. Wien 1923, L. W. Seidel & Sohn. 352 Seiten mit 318 Figuren.

Elastizitätslehre als Grundlage für die Festigkeitsberechnung der Bauwerke. Von W. Keck. 3. vermehrte Aufl., 2. Teil. Hannover 1924, Helwingsche Verlagsbuchhandlung. 486 S. mit 229 Abb. Preis Gz. geh. 7, geb. 9.

Din-Buch 2: **Die Normung der Gewindesysteme.** Von Prof. Dr.-Ing. Schlesinger. Berlin 1923, Normenausschuß der deutschen Industrie. 80 S. mit 71 Abb. und 6 Zahlentafeln.

Uhlands Ingenieurkalender 1924. 50. Jg. 1. und 2. Teil. Von Obering. F. Wilke. Leipzig 1923, Alfred Kröner.

Berechnung und Konstruktion von Dampflokomotiven. Von Dipl.-Ing. Bauer und Dipl.-Ing. Stürzer. 2. Aufl. Berlin 1923, C. W. Kreidels Verlag. 412 Seiten. Preis geb. 20 Goldmark.

Autotechnische Bibliothek Bd. 17: **Personen- und Lasten-Dampfwagen.** 2. Aufl. Von J. Küster. Berlin 1923, Richard Carl Schmidt & Co. 235 S. mit 166 Abb. Preis broschiert 3 Goldmark.

Die Bergwerksmaschinen. 3. Bd. Die Schachtfördermaschinen. 1. Teil. **Die Grundlagen des Fördermaschinenwesens.** Von Dr. Fr. Schmidt. Berlin 1923, Julius Springer. 209 Seiten, 178 Abb. Preis geh. 8,5 Goldmark.

Bilanzpolitik und Steuerpflicht. Von Prof. Dr. le Coutre und Diplomkaufmann R. Altenloh. Berlin 1923, Spaeth & Linde. 288 S. Preis geb. 7,20 Goldmark.

Die Phasenverschiebung in Wechselstromnetzen. Von Brown, Boveri & Cie., Akt.-Ges., Mannheim. 35 Seiten.

Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. 2. verbesserte Auflage. Von Obering. W. Demuth. Berlin 1923, Julius Springer. 254 Seiten mit 132 Abb. Preis geb. 12 Goldmark.

Die Lichtbogenzündung nebst Störungserscheinungen. Von Obering. H. Mertz. Berlin 1923, M. Krayn. 40 S. mit 29 Abb. Preis brosch. Gz. 0,50.

„Hütte", Taschenbuch für Eisenhüttenleute. Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, E. V. Berlin 1923, Wilhelm Ernst & Sohn. 962 S. Preis geb. 13,5.

Die Berechnung des Werkstoffverbrauches bei gestanzten, gezogenen und gedrehten Gegenständen im Bereich der Metallindustrie. Von L. Glück. Berlin 1923, Julius Springer. 91 S. mit 125 Abb. und 10 Zahlentafeln. Preis geh. 2,80, geb. 3,60 Goldmark.

Magnetische Kräfte in der Atmosphäre. Von A. Hofmann. Leipzig 1923, Oswald Mutze. 31 S. Preis Gz. 0,80.

Karte der mittleren jährlichen Bevölkerungszunahme der Erde. Von Dr. K. Japper. München und Berlin 1923, R. Oldenbourg. Preis geh. Gz. 1.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Die Entwicklung des Kreiselkompasses.

Ich habe diesen Artikel von O. Martienßen in Nr. 8 dieser Zeitschrift 1923 mit großem Interesse gelesen, bemerke jedoch, daß der Verfasser offenbar auf Grund ungenügender Auskünfte betreffs der neueren Typen der Sperry-Kreiselkompasse bedauerlicherweise einen Irrtum begangen hat. Ich beziehe mich auf denjenigen Teil des Artikels, welcher die neueste Type des Sperry-Kompasses behandelt und wonach der Eindruck erweckt wird, daß der ballistische Quecksilberkompaß von Sperry „ein von den Engländern Perry und Brown erdachtes Verfahren" benutzt.

Herr Martienßen ist offenbar von dem in seinem Artikel erwähnten Aufsatz von Crouse irregeführt worden. Zur Zeit, als diese Mitteilung vor dem Amerikanischen Verein von Maschineningenieuren verlesen wurde, machte der Unterzeichnete in der nachher folgenden Erörterung auf die darin enthaltenen Irrtümer aufmerksam; doch wurde das Protokoll der Diskussion leider nicht zugleich mit dem Aufsatz veröffentlicht und blieb daher nur wenigen bekannt.

Der ballistische Quecksilberkompaß von Sperry wurde um ungefähr dieselbe Zeit in den Vereinigten Staaten sowie in England erfunden, und zwar in den Vereinigten Staaten von Harry L. Tanner, dem Erfinder des auch in dem Martienßenschen Artikel erwähnten Zweikreisel-Kompasses, und in England von zwei britischen Marineoffizieren, den Kommandanten Harrison und Rawlings.

In dem neuen Sperry-Kompaß ist ein ganz neues Prinzip zur Anwendung gelangt. Auf dem mitgehenden Ring sind ein Paar Quecksilberbehälter drehbar angebracht, welche exzentrisch mit dem Kreiselgehäuse in Verbindung stehen. Es wird kein Hilfspendel oder Luftdruck oder eine sonstige äußere Kraftquelle irgendwelcher Art zur Übertragung der Flüssigkeit verwendet, wie dies bei Perry und Brown und anderen der Fall ist. Hieraus ergibt sich ein großer Vorteil hinsichtlich der Konstruktion der Kreiselkompasse insofern, als kein gleichgewichtsschädlicher oder pendelnder Faktor vorliegt, auf den die Beschleunigungskräfte beim Stampfen und Schlingern des Schiffes einwirken und so eine Abweichung erzeugen können, wenn sich der Kreisel am Meridian befindet. Perry und Brown benutzen andererseits Öl und eine Pendelvorrichtung, welche eine unabhängige Kraftquelle (Luftdruck) betätigt, um die Wirkung zu erzeugen, daß das Öl in der entgegengesetzten Richtung statt nach dem Schwerkraftgesetz fließt, und sie bringen daher von neuem Ursachen für Störungen mit hinein, worunter sich die oben erwähnten befinden. Perry und Browns Pendelvorrichtung ist in den Abb. 18 und 19 des Martienßenschen Artikels der mit dem Buchstaben *a* bezeichnete pendelnd gelagerte, senkrechte Ring.

Hochachtungsvoll

Brooklyn, den 4. Juni 1923. Herbert H. Thompson.

Zu dem vorliegenden Briefe des Herrn Thompson bemerke ich, daß ich allerdings die Beschreibung der neueren Konstruktion der Sperry Gyroscope Co. dem Aufsatz von Crouse entnommen habe. Ich konnte unmöglich annehmen, daß in diesem Aufsatz die Konstruktion von Sperry nicht richtig dargestellt ist. Nach dem vorliegenden Brief scheint die Sperry Gyroscope Co. neuerdings noch eine etwas abweichende Konstruktion durchgebildet zu haben. Leider ist in dem Briefe die Wirkungsweise dieser Neukonstruktion nicht so klar beschrieben, daß es möglich wäre, ein Urteil über die Konstruktion abzugeben.

Aus dem amerikanischen Patent Nr. 1 362 940 von Harrison und Rawlings, das der Neukonstruktion zugrunde liegt, geht hervor, daß die Sperry Gyroscope Co. bei diesem Kompaß eine ähnliche Einrichtung verwendet wie Anschütz & Co. zur Dämpfung ihres Kompasses. Diese Einrichtung soll hier offenbar das Untergewicht des im übrigen indifferent aufgehängten Kreisels ersetzen, ohne Veranlassung zu Störungen auf rollenden Schiffen zu geben. Die Dämpfung ist bei diesem Kompaß nicht durch diese Einrichtung veranlaßt, sondern durch dieselben Methoden wie bei der ersten Sperry-Konstruktion. Es dürfte abzuwarten sein, ob sich diese Neukonstruktion bewährt. [Z 2042] O. Martienßen.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 3 SONNABEND, 19. JANUAR 1924 BD. 68

INHALT

Die Kesselbaustoffe.

Vorgetragen in der Tagung des V. d. I. über Hochdruckdampf vom 18. Januar 1924 in Berlin.

Von P. Goerens, Essen.

Es wird vor allen Dingen die Frage aufgeworfen, warum seinerzeit die Festigkeit der Feuer- und Bördelbleche für Landdampfkessel auf höchstens 41 kg/mm² beschränkt wurde, während für Schiffsdampfkessel nicht unwesentlich höhere Zahlen zugelassen sind. Sodann werden die Eigenschaften des unlegierten Flußeisens und legierter Kesselbaustoffe bei verschiedenen Temperaturen sowie die Einflüsse der Alterung und Rekristallisation auf dieselben besprochen. All dieses weist auf die Zweckmäßigkeit hin, Materialien höherer Streckgrenze, also legierte Stahle, zu verwenden, gegen die um so weniger Bedenken vorhanden sein dürften, als letztere sowohl durch Alterung als auch Rekristallisation nicht entfernt die große Schädigung erfahren wie das seitherige Flußeisen. Zum Schluß wird noch darauf hingewiesen, daß neuerdings aus unlegierten und legierten Stahlen nahtlose und beiderseits bis auf Mannlöcher zugekümpelte Kesseltrommeln bis zu den größten in Betracht kommenden Abmessungen und Wandstärken hergestellt werden können.

Zur Herstellung von Kesselkörpern bedient man sich heute im wesentlichen des weichen Flußeisens. Solange die Beanspruchung des Werkstoffes durch den Herstellungsvorgang und den Betrieb ein gewisses Maß nicht überschritt, bestand kein Bedürfnis, die Frage aufzuwerfen, ob man sich auf die Dauer auf diesen Werkstoff beschränken soll. Für den Bau von Landdampfkesseln bestehen zudem gesetzliche Vorschriften, die eine Steigerung der Festigkeit des Baustoffes über 41 kg/mm² hinaus in der Nähe der Feuerung verbieten und auf diese Weise von den Flußeisensorten die härteren Qualitäten ausschließen. In dem Maße, wie die Abmessungen des Kessels und der Betriebsdruck stiegen, mußte die erforderliche Widerstandsfähigkeit durch Erhöhung der Blechstärke geschaffen werden. Mit der Blechstärke wachsen die Herstellungsschwierigkeiten des Kessels, insbesondere wird die zuverlässige Nietarbeit mehr und mehr erschwert. Die neueste Stufe in der Entwicklung des Dampfkessels, der Hochdruckkessel, ließ erkennen, daß der bisherige genietete Kesselkörper aus weichem Flußeisen nicht mehr in Frage kommen konnte und neue Wege zu seiner Herstellung gesucht werden müssen. Bei den Berechnungen hatte man vorausgesetzt, daß, den behördlichen Vorschriften entsprechend, der unmittelbar beheizte Kesselkörper aus dem bisher üblichen Werkstoff bestehen müsse, und dabei übersehen, daß man bei den neuen Konstruktionen auch andere Werkstoffe mit günstigeren Eigenschaften in den Kreis der Betrachtung hätte ziehen müssen. Der Maschinenbauer hat dies längst getan, und manche neuzeitliche Maschine wäre nie entstanden, wenn man sich bei der Berechnung ihrer hochbeanspruchten Teile mit dem gewöhnlichen Schmiedeisen hätte begnügen müssen. Solange bei der Dampfkesselanlage das Gewicht keine besondere Rolle spielte und die Herstellungsschwierigkeiten des Kessels nicht zu groß waren, bestand auch kein Bedürfnis, von dem bisher bewährten, billigen Werkstoff abzugehen. Anders lagen die Dinge dort, wo das Gewicht des Kessels in Betracht kam und wo man hohe Leistungen von den Kesseln verlangte, ohne daß ihr Gewicht allzusehr erhöht werden durfte. Dies ist zum Beispiel bei Schiffskesseln der Fall, bei denen denn auch außer dem weichen härteres Flußeisen zugelassen ist. Schon seit Jahrzehnten verwendet die Marine mit bestem Erfolge Bleche höherer Festigkeit, um auf diese Weise die Blechstärke niedriger halten zu können, als dieses mit gewöhnlichem Flußeisen möglich wäre. Aus Abbildung 1 geht hervor, daß der Schiffskesselbau das durch die Fläche *ABCD* dargestellte Werkstoffgebiet zur Verfügung hat, während der Landdampfkesselbau auf das wesentlich kleinere Feld *EFCD* beschränkt ist, sofern es sich um Feuerbleche handelt.

In meinem heutigen Vortrag werde ich den heutigen Stand unserer Kenntnisse über die Eigenschaften des weichen Flußeisens erläutern. Weiterhin gedenke ich zu zeigen, daß andere Werkstoffe von höherer Festigkeit dem weichen Flußeisen als Kesselbaustoff in keiner Weise unterlegen sind, vielmehr gewisse Mängel desselben nicht aufweisen, und schließlich will ich noch kurz auf einige Herstellungsverfahren von Kesselkörpern für hohe Drücke eingehen, unter besonderer Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften im fertigen Körper. Hierbei wird sich Gelegenheit bieten, auf Fehler hinzuweisen, die bei der Herstellung der Kessel sowie ihrer Betriebnahme begangen werden können, soweit diese Fehler auf das Verhalten des Werkstoffes zurückwirken.

Unlegiertes Flußeisen.

Mechanische Eigenschaften des Flußeisens bei verschiedenen Temperaturen.

Nach den gesetzlichen Vorschriften muß das weiche Flußeisen für die von der Heizflamme bestrichenen Teile des Kessels folgende Eigenschaften haben: Die Festigkeit muß zwischen 34 und 41 kg/mm² liegen, die Dehnung mindestens 25 vH betragen und um so höher sein, je niedriger die Festigkeit ist. Weiterhin muß das Material gewisse Biege- und Schmiedeproben aushalten.

Die angegebenen Eigenschaften, soweit sie sich auf die Festigkeit beziehen, sind nur zu erreichen, wenn man ein Flußeisen verwendet, dessen Kohlenstoffgehalt 0,15 vH nicht wesentlich übersteigt. Ein solches Eisen besteht der Hauptsache nach aus Ferrit, das ist kohlenstofffreies Eisen, Abb. 2, und Perlit, einem harten Gefügebestandteil mit 0,9 vH Kohlenstoff. Das Verhältnis dieser beiden Gefügebestandteile hängt lediglich vom Kohlenstoffgehalt des Eisens ab. Der Ferrit erscheint in Form wohl abgegrenzter Körner, der Perlit bildet (dunkle) Inseln innerhalb der weichen Ferritmasse. Die Festigkeitseigenschaften, insbesondere die Kerbzähigkeit, hängen in hohem Maße von der Größe der Ferritkörner und der Art der Verteilung des Perlits ab. Feines Ferritkorn mit gleichmäßig verteilten Perlitinseln, Abb. 2, ist kennzeichnend für ein zähes Material, während bei grobem Ferritkorn, Abb. 3, zwar genügende Festigkeit und Dehnung vorhanden sein können, die Kerbzähigkeit jedoch sehr niedrig ist. Streifenförmig verteilter Perlit, Abb. 4, sogenannte Zeilenstruktur, führt häufig zu erheblichen Verschiedenheiten der Eigenschaften in den verschiedenen Richtungen; er stellt eine ungünstige Abweichung des Gefügeaufbaues vom normalen dar.

Neben den Eigenschaften des Materials bei gewöhnlichen Temperaturen interessieren den Kesselkonstrukteur in hohem Maße die Veränderungen, denen diese Eigenschaften bei steigender Temperatur unterworfen sind. In der Literatur finden sich hierüber bereits zahlreiche Angaben[1]). Diese seien ergänzt durch Ergebnisse

[1]) W. Oertel, Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl in der Kälte und Wärme. Zusammenfassender Bericht über das seit 1900 bis Ende 1922 bekannt gewordene Schrifttum unter Berücksichtigung einiger vor 1900 erschienener wichtiger Arbeiten. Werkstoffausschuß des Vereins deutscher Eisenhüttenleute, Bericht Nr. 26. Verlag Stahleisen, Düsseldorf.

Zahlentafel 1. Mechanische Eigenschaften von Siemens-Martin-Flußeisen aus einem nahtlos geschmiedeten und an beiden Enden zugekümpelten Kessel. Versuchstemperatur 20°.

Probe	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (5 d) vH	Einschnürung vH	spezifische Schlagarbeit kgm/cm²
	a) Werkstoff geglüht				
Zylindrischer Teil, längs[1])	25	36,4	40,0	72	29,8
Zylindrischer Teil, quer[1])	24	36,4	39,5	72	15,0
Gekümpelter Teil, längs .	21	36,3	37,0	71	20,3
Gekümpelter Teil, quer .	22	36,5	37,0	71	13,0
	b) Werkstoff vergütet				
Zylindrischer Teil, langs .	23	36,6	37,0	70	29,3
Zylindrischer Teil, quer .	24	37,3	36,2	70	17,4
Gekümpelter Teil, längs .	21	36,7	35,5	70	22,3
Gekümpelter Teil, quer .	21	36,5	37,7	70	15,7

einiger Versuche an Siemens-Martin-Flußeisen, das zu einem nahtlos geschmiedeten und an beiden Enden zugekümpelten Versuchskessel von 760 mm lichtem Durchmesser verarbeitet worden war. Die Probestäbe wurden dem zylindrischen und dem gekümpelten Teil entnommen, und zwar sowohl parallel der Achse als auch senkrecht dazu. Die Untersuchungen wurden an geglühten und an vergüteten Proben vorgenommen. Die mechanischen Eigenschaften dieses Materials bei gewöhnlicher Temperatur sind in Zahlentafel 1 wiedergegeben.

Die Abhängigkeit dieser Eigenschaften von der Temperatur ergibt sich aus Zahlentafel 2 und Abb. 5 und 6.

Die Bruchfestigkeit steigt zunächst langsam an, erreicht einen Höchstwert von 45 kg/mm² bei etwa 250 °, um dann mit steigender Temperatur gleichmäßig zu sinken. Bei 500 ° ist die Festigkeit auf ungefähr die Hälfte der ursprünglichen gesunken. Die Streckgrenze sinkt ungefähr proportional der Temperatur und läßt keinen der Bruchfestigkeit entsprechenden Höchstwert erkennen. Von einem ursprünglichen Wert von 25 kg/mm² sinkt die Streckgrenze bereits bei 350 ° auf die Hälfte und beträgt bei 500 ° nur noch 10 kg/mm². Die Kurve für die Dehnung nimmt etwa den umgekehrten Verlauf wie diejenige der Bruchfestigkeit. In der Nähe von 200 ° befindet sich ein Mindestwert von etwa 18 vH. Von hier ab steigt die Dehnung sehr rasch an und erreicht bei 500 ° einen Wert von 47 vH.

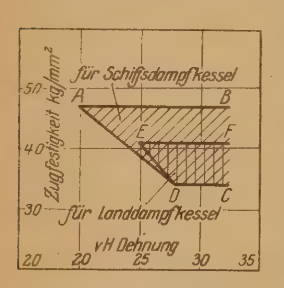
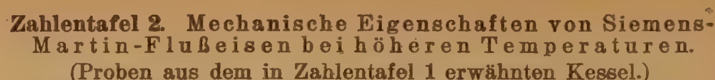


Abb. 1. Vergleich zwischen den für Schiffsdampfkessel und Landdampfkessel zur Herstellung unmittelbar beheizter Teile zugelassenen Flußeisensorten.

Die in Abb. 6 wiedergegebene Kurve läßt erkennen, daß die Kerbzähigkeit mit steigender Temperatur zunächst etwas erhöht wird und erst oberhalb 200 ° langsam aber gleichmäßig sinkt. Bei 500 ° beträgt die Kerbzähigkeit noch etwa 13 kg/mm², ein Wert, der noch genügend hoch ist, um das Material als zäh zu kennzeichnen. Bekanntlich hat das Eisen in der Nähe derjenigen Temperatur, bei welcher blanke Flächen blau anlaufen, besondere Eigenschaften. Man glaubte lange, bei dieser Temperatur sei das Metall



Zahlentafel 2. Mechanische Eigenschaften von Siemens-Martin-Flußeisen bei höheren Temperaturen. (Proben aus dem in Zahlentafel 1 erwähnten Kessel.)

Temperatur °C	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (10 d) vH	Dehnung (5 d) vH	Spezifische Schlagarbeit (Normalprobe) mkg/cm²
		a) Werkstoff geglüht			
100	19	40,1	17,9	22,0	30,8
200	19	44,4	18,1	23,4	27,1
„	—	43,7	18,1	24,2	27,1
250	17	45,0	18,5	24,8	23,9
300	15	42,8	27,0	35,8	18,4
„	14	43,8	22,0	29,6	18,7
350	12	40,0	34,0	46,9	20,0
400	12	33,4	44,0	58,3	15,1
„	12	32,2	40,3	51,1	15,7
500	10	20,2	49,6	64,1	13,5
„	10	19,5	44,4	60,0	—
		b) Werkstoff vergütet			
100	18	34,8	16,9	26,6	32,3
„	18	38,6	14,8	21,1	31,8
200	20	41,9	16,8	22,0	26,2
„	20	42,2	16,8	22,1	27,0
250	20	44,5	20,9	28,6	23,9
300	14	42,0	22,2	30,8	23,0
„	14	39,1	30,1	41,7	21,8
350	13	37,4	36,2	45,2	20,5
400	13	28,8	46,2	59,4	16,2
„	13	28,4	35,6	50,9	16,8
500	10	17,0	52,4	69,0	12,2
„	11	24,1	45,5	59,6	—

spröde. Wie aus der Kurve der Kerbzähigkeit hervorgeht, bezieht sich diese Anschauung jedenfalls nicht auf diejenige Sprödigkeit, die durch die Kerbschlagprobe nachgewiesen werden kann. Wahrscheinlich hängt die Empfindlichkeit bei etwa 300 ° zusammen mit einer Schädigung der mechanischen Eigenschaften durch Reckung der Blauwärme.

Ein Vergleich der Zahlenwerte für den vergüteten Werkstoff läßt erkennen, daß kein Unterschied gegenüber dem geglühten besteht. Es kann also durch Vergüten des Flußeisens das Sinken der Festigkeit, Streckgrenze und Kerbzähigkeit gegenüber dem geglühten Werkstoff nicht verhindert oder gemildert werden.

Die Erfahrungen haben nun gelehrt, daß die Kenntnis der Festigkeitseigenschaften bei den Temperaturen nicht genügt, um das Verhalten des Werkstoffes im Kessel unter gewöhnlichen und außergewöhnlichen Betriebsverhältnissen zu kennzeichnen. Vielmehr hat sich durch die Untersuchung der Bleche aus schadhaft gewordenen Kesseln herausgestellt, daß die mechanischen Eigenschaften der Bleche häufig nicht so günstig waren, wie die Abnahmevorschriften dies erwarten ließen. Insbesondere zeigte sich oft eine auffallend hohe Sprödigkeit, gemessen an der Kerbschlagprobe, die in einem sorgfältig hergestellten Kesselblech nicht vorkommen durfte. Mag auch in einer gewissen Zahl dieser Fälle von vornherein ein den Bedingungen nicht genügendes Blech eingebaut worden sein, so war doch nicht zu verkennen, daß das ursprünglich gesunde Blech nachträglich eine Verschlechterung seiner Eigenschaften erfahren haben mußte. Diesen Vorgängen hat man sich in den letzten Jahren eingehend gewidmet. Wenn auch heute noch nicht gesagt werden kann, daß die Verhältnisse vollständig geklärt sind, so sind doch zwei Eigentümlichkeiten des Flußeisens klargestellt, die bei seiner Verarbeitung und Verwendung berücksichtigt werden müssen: das Altern und die Rekristallisation.

Das Altern.

Der Ausdruck „Altern" hat im Laufe der Zeit sehr verschiedene Bedeutungen gehabt. Man war lange und ist auch heute noch vereinzelt der Meinung, daß die Metalle, insbesondere das Eisen, durch wiederholte Beanspruchung ermüden. Ähnlich,

[1]) Längs bedeutet, daß die Proben parallel zur Achse des Kessels entnommen sind; die Querproben liegen senkrecht zu den Längsproben.
Die Längsproben für Kerbschlagversuche hatten die normalen Abmessungen 30 quadr. × 160 mm, die Querproben waren linear um die Hälfte kleiner (15 quadr. × 80 mm)

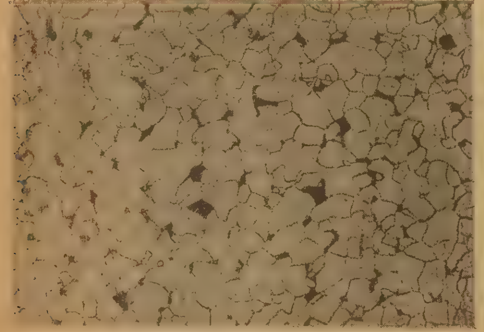


Abb. 2. Feines gleichmäßiges Korn.

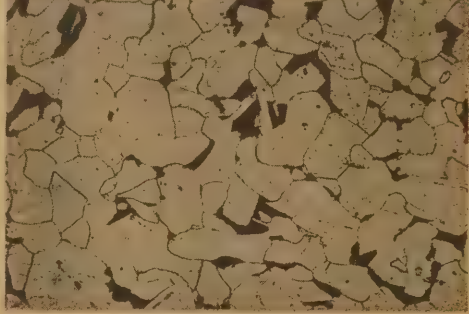


Abb. 3. Grobes Korn.

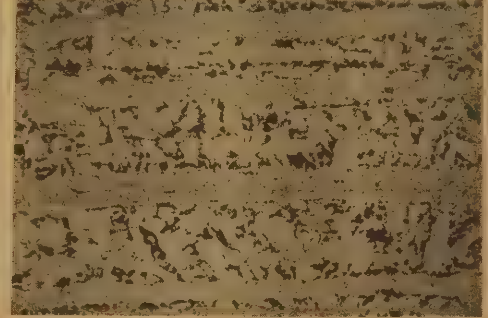


Abb. 4. Zeilenstruktur

Abb. 2 bis 4. Gefügebilder eines gewöhnlichen Kesselblech-Flußeisens (Ferrit + Perlit) mit rd. 0,12 vH C (80 fach vergrößert).

Zahlentafel 3. Alterungsversuche an Flußeisenblech.

	Eigenschaften	Vorproben vor dem Biegen	Versuchsergebnisse nach dem Biegen: 1 Tag	1 Jahr	2½ Jahre: die ganze Zeit kalt gelagert	2½ Jahre: davon 17½ Monate im Dampfkessel aufgehängt gewesen
	1	2	3	4	5	6
Längsproben.						
Blech A	Streckgrenze kg/mm²	21,4	22,8	24,8	28,2	24,9
	Bruchgrenze „	36,1	37,1	38,0	38,2	37,3
	Dehnung*) (10 d) vH	36,2	31,0	32,0	32,0	29,5
	„ (5 d) „	39,0	34,9	35,2	33,5	31,8
	Einschnürung „	67	63	65	67	66
	Spezifische Schlagarbeit . mkg/cm²	> 21,4	17,5	13,9	3,8 u. 12,0	2,5 u. 3,7
Blech B	Streckgrenze kg/mm²	entspricht dem Zustand wie beim Blech A	23,2	24,4	26,7	24,6
	Bruchgrenze „		38,9	39,3	40,1	38,6
	Dehnung*) (10 d) vH		34,7	30,0	30,5	28,0
	„ (5 d) „		37,8	33,7	32,5	30,5
	Einschnürung „		62	64	65	64
	Spezifische Schlagarbeit . . mkg/cm²		19,1	16,8	14,5 u. 16,1	2,5 u. 3,7
Blech C	Streckgrenze kg/mm²	28,8	—	36,2	40,6	35,0
	Bruchgrenze „	44,4	49,0	50,4	52,0	46,6
	Dehnung*) (10 d) vH	28,0	20,2	19,5	15,5	21,0
	„ (5 d) „	31,7	22,8	21,8	18,5	24,0
	Einschnürung „	63	59	61	59	64
	Spezifische Schlagarbeit . . mkg/cm²	> 22	∾ 19,5	16,4	7,8 u. 12,4	15,0 u. 16,1
Querproben.						
Blech A	Streckgrenze kg/mm²	21,4	23,0	26,5	26,7	27,1
	Bruchgrenze „	36,2	36,9	38,6	38,2	38,0
	Dehnung*) (10 d) vH	34,0	31,7	27,5	27,0	27,5
	„ (5 d) „	38,0	34,6	30,0	30,2	29,0
	Einschnürung „	63	59	61	60	62
	Spezifische Schlagarbeit . . mkg/cm²	10,7	12,8	11,3	3,2 u. 3,8	2,6 u. 2,6
Blech B	Streckgrenze kg/mm²	entspricht dem Zustand wie beim Blech A	22,3	26,6	26,7	25,0
	Bruchgrenze „		37,7	39,9	39,6	38,5
	Dehnung*) (10 d) vH		29,7	27,5	28,0	27,5
	„ (5 d) „		32,8	30,6	30,8	30,0
	Einschnürung „		57	57	61	58
	Spezifische Schlagarbeit . mkg/cm²		13,6	12,5	3,3 u. 10,5	11,6 u. 11,9
Blech C	Streckgrenze kg/mm²	45,3	35,5	36,3	37,9	35,4
	Bruchgrenze „	51,6	48,5	50,6	50,0	47,8
	Dehnung*) (10 d) vH	15,0	21,0	19,3	22,5	19,8
	„ (5 d) „	17,5	23,1	21,8	24,5	21,9
	Einschnürung „	50	56	55	53	61
	Spezifische Schlagarbeit . . mkg/cm²	11,3	13,8	11,9	7,8 u. 9,5	8,4 u. 9,5

wie bei lebenden Wesen, sollte diese Ermüdung zur Folge haben, daß die Leistungsfähigkeit abnimmt und daß das Material, sobald es durch die Ermüdung ein gewisses Alter erreicht hat, also gewissermaßen ein Greis seiner Art geworden ist, bei einer wesentlich geringeren Beanspruchung versagt, als es in seiner Jugend ohne Schwierigkeiten ausgehalten hätte. Man glaubte auch ein äußeres Merkmal für diesen Zustand gefunden zu haben, nämlich eine „kristallinische" Struktur im Gegensatz zur „sehnigen". Den Übergang von dem zähen sehnigen Zustand in den kristallinischen stellte man sich so vor, daß sich durch die wiederholten Erschütterungen der normalen Beanspruchung die kleinsten Teilchen zu Kristallen zusammenfinden, die wesentlich spröder sein sollten als die ursprünglichen Sehnen. Nach Einführung der mikroskopischen Untersuchungsverfahren konnte aber der Nachweis erbracht werden, daß alle Metalle aus kleineren oder größeren Kristallen aufgebaut sind, der kristallinische Zustand also nicht erst erworben werden kann.

Neuerdings hat man nun festgestellt, daß das Altern ein sehr wohl zu definierender Vorgang ist. O. Bauer[2]) bezeichnet als Altern die allmähliche Veränderung der Festigkeitseigenschaften kaltgereckten Materials. Seine Versuche tun in überzeugender Weise dar, daß namentlich die Kerbzähigkeit durch das Altern stark leidet. Bevor also das Eisen eine Verschlechterung durch Altern erfahren kann, ist es notwendig, daß es vorher gereckt, d. h. über seine Streckgrenze hinaus beansprucht worden ist.

In Ergänzung der Bauerschen Versuche seien im Nachstehenden einige weitere beschrieben, die mit einem normalen guten Kesselblech ausgeführt wurden. Die Zusammensetzung war:

C	Si	Mn	P	S
11	—	.53	.026	.031

Wie in Abbildung 7 dargestellt, wurden aus dem Rohblech drei Platten *A*, *B* und *C* herausgearbeitet. *A* und *B* wurden bei 920 ° geglüht, *C* dagegen wurde auf 920 ° erhitzt und in Wasser abgelöscht. Nach diesen Behandlungen wurden aus den Blechen *A* und *C* Vorproben entnommen, deren Eigenschaften in Zahlentafel 3, Spalte 2, angegeben wird. Hierauf wurden die Bleche *A* und *C* im kalten Zustand mit ½ m Halbmesser gebogen und sofort wieder gerade gerichtet. Blech *B* wurde mit 1 m Halbmesser gebogen und sofort wieder gerade gerichtet. Damit keinerlei Kaltbearbeitung außer der gewölbten Biegung und Zurückbiegung in die Proben hineinkam, wurden sämtliche Schnitte mit Kaltsägen ausgeführt. Um nun die Änderungen der Eigenschaften der verschiedenen Bleche in Abhängigkeit von der Zeit verfolgen zu können, wurden gemäß nachstehendem Programm in zuerst kürzeren, später längeren Zeitabständen Proben zerrissen oder zerschlagen.

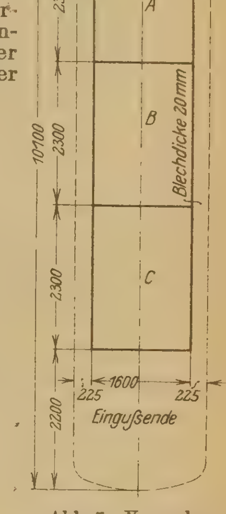


Abb. 7. Versuchskesselblech aus S.-M.-Flußeisen.

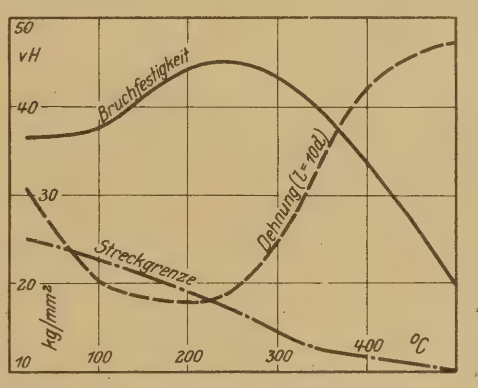


Abb. 5. Abhängigkeit der Festigkeitseigenschaften des weichen Flußeisens von der Temperatur.

Programm.

Versuch Nr.	Ausführung			
1 und 2	1 Tag	nach	dem	Biegen
3	3 Tage	„	„	„
4	7 Tage	„	„	„
5	14 Tage	„	„	„
6	1 Monat	„	„	„
7	2 Monate	„	„	„
8	3 Monate	„	„	„
9	6 Monate	„	„	„
10	9 Monate	„	„	„
11	1 Jahr	„	„	„
12	2½ Jahre	„	„	„

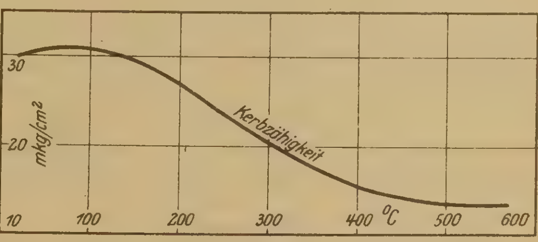


Abb. 6. Abhängigkeit der Kerbzähigkeit weichen Flußeisens von der Temperatur.

Jeder Versuch umfaßt je eine Längs- und Querzerreißprobe und je 2 Längs- und Querkerbschlagproben.

Querschnitt der Zerreißproben 40,1 × 20 mm,

Meßlängen der Zerreißproben 200 und 160 mm, entsprechend dem bei Blechen üblichen Gebrauch, oder $5{,}65\sqrt{F}$.

Abmessungen der Kerbschlagproben 160 × 30 × 20 mm mit 4 mm Dmr. des Kerbs.

Nach Ablauf des ersten Jahres wurden weitere Proben in einem Dampfsammler (Betriebsdruck rd. 14 at, entsprechend 200 ° Sattdampftemperatur) aufgehängt, nach Ablauf gewisser Zeiträume herausgenommen und geprüft.

Ergebnisse: Da die anfänglichen Schwankungen der Festigkeitszahlen erst nach einiger Zeit einer gewissen Stetigkeit Platz machen, sind in Zahlentafel 3 nur die Ergebnisse der Vor-

*) Auf 200 mm Meßlänge. — In den Spalten 2 bis 4 sind von den Zugversuchen nur Mittelwerte angegeben, von den Kerbschlagergebnissen sind es stets Mittelwerte aus mindestens 2 Proben; die Spalten 5 und 6 enthalten dagegen nur Einzelwerte.

[2]) Beitrag zur Kenntnis des Alterns kaltgereckten Eisens. Mitt. Mat.-Pr.-Amt 1921, S. 251.

prüfung, der Prüfung am 1. Tag nach dem Recken sowie nach 1 und 2½ Jahren wiedergegeben.

Ein Vergleich der Zahlenwerte vor und nach dem Biegen läßt erkennen, daß sich die durch das Kaltbiegen hervorgerufene geringe Erhöhung der Streckgrenze und Festigkeit durch das Lagern verstärkt. Dehnung und Einschnürung werden etwas vermindert. Das Gesamtbild der durch den statischen Zugversuch ermittelten Festigkeitseigenschaften ist aber derart, daß man auf keine Gefährdung des Materials schließen könnte.

Ganz anders dagegen liegen die Verhältnisse, wenn man den Kerbschlagversuch zur Prüfung mit heranzieht. Hier zeigt sich zunächst, daß durch das Kaltbiegen an sich keine deutliche Verminderung der Kerbzähigkeit erfolgt. Während die Längsproben

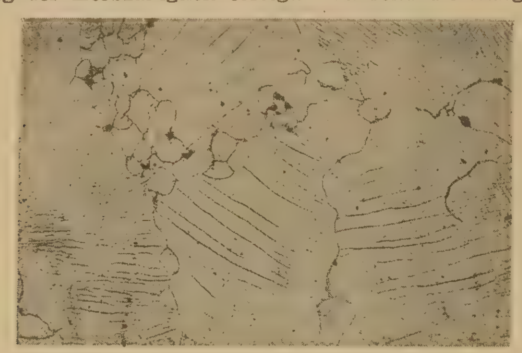


Abb. 8. Ferritkörner mit Gleitlinien.

vor dem Biegen Werte von etwa 22 mkg/cm² aufwiesen, sind diese nach dem Biegen um etwa 4 mkg/cm² vermindert. Bei den Querproben zeigt sich sogar nach dem Biegen eine Erhöhung der Werte um etwa 2 mkg/cm². Nach einem Jahr hatte sich das Bild im allgemeinen wenig verändert, dagegen ist der größte Teil der Proben aus dem geglühten Material nach 2½jährigem Lagern spröde geworden. Eine besondere Wirkung des Alterns im Dampfkessel ist nicht zu bemerken. Auch ist kein Unterschied zwischen dem stärker gebogenen Blech *A* und dem schwächer beanspruchten Blech *B* zu erkennen.

Hingegen ist hervorzuheben, daß bei dem vergüteten Flußeisen (Blech *C*) zwar auch die Kerbzähigkeit vermindert ist; die Schädigung ist jedoch wesentlich geringer und erreicht in keinem Fall einen solchen Grad, daß man das Blech als spröde ansprechen müßte.

Es ist natürlich von großer Wichtigkeit, ein Verfahren ausfindig zu machen, um rasch Auskunft über die Empfindlichkeit eines Materials gegen Alterungswirkungen zu erhalten. Die metallographische Untersuchung hat nun gezeigt, daß die 2½ Jahre lang kalt gelagerten und durch Alterung spröde gewordenen Bleche die Fryschen Kraftwirkungsfiguren zeigten, Abb. 9. Diese Figuren erscheinen an den Proben sofort nach der Ätzung, ohne daß man die Proben vorher zu erwärmen braucht. Nun hatten frühere Untersuchungen gelehrt (vgl. Fry[1]), Meyer u. Eichholz[2]) daß an kalt gebogenen Blechen Kraftwirkungsfiguren nachgewiesen werden können, wenn sie vor dem Ätzen auf 200° angewärmt werden.

Es war daher zu vermuten, daß die Wirkung der Alterung auf die Sprödigkeit mit dem Auftreten der Kraftwirkungsfiguren in Verbindung stehen könnten, und dementsprechend wurde versucht, eine künstliche Alterung durch Anwärmen auf 200° herbeizuführen. Zu diesem Zweck wurden aus dem Kessel prismatische Probestäbe geschnitten, auf der Zerreißmaschine über die Streckgrenze hinaus vorgereckt und dann geprüft. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Zahlentafel 4 zusammengestellt. Die Zahlen lassen erkennen, daß die Alterungserscheinungen sehr deutlich ausgeprägt sind. Streckgrenze und Festigkeit sind erhöht, Dehnung und Kontraktion entsprechend vermindert. Die Kerbzähigkeit dagegen ist auf wenige mkg/cm² herabgesunken, und damit ist ein Sprödigkeitsgrad erreicht, der im Vergleich zum normalen Wert nicht unbedenklich scheint.

Rekristallisation.

Während sich die mit dem Altern zusammenhängenden Erscheinungen bei Temperaturen abspielen, die 250° nicht überschreiten, verlaufen die Rekristallisationsvorgänge bei Temperaturen zwischen 500° und 850°. Man versteht unter Rekristallisation die Neubildung von Kristallen, die durch mechanische Einwirkungen eine Störung erfahren haben. Eine solche Störung findet statt durch Kaltrecken, also Formänderung oberhalb der Streckgrenze bei Temperaturen unterhalb 500°. Genau wie das Altern hängt demnach die Rekristallisation mit einer vorangegangenen Reckung zusammen. Die Störung der Kristalle ist mikroskopisch meist nicht nachgeweisbar, mitunter gelingt es aber doch, sogenannte „Gleitlinien" in Ferritkörnern festzustellen, Abb. 8. Für die mechanischen Eigenschaften ist die Neubildung von Kristallen dann von Nachteil, wenn die Größe des einzelnen Kristalls ein gewisses Maß überschreitet. Die sehr eingehenden Forschungen der letzten Jahre haben nun gezeigt, daß besonders große Kristalle dann entstehen, wenn das vorgereckte Material eine Formänderung von etwa 10 vH erfahren hat und dann bei 700 bis 800° ausgeglüht wird. Die Gefahr bei Verwendung rekristallisierten Materials liegt darin, daß der statische Zerreißversuch durchaus normale Werte ergeben kann, abgesehen vielleicht von einer niedrigeren Streckgrenze, während gleichzeitig sehr hohe Sprödigkeit vorliegt.

[1]) Ad. Fry, Kraftwirkungsfiguren in Flußeisen, dargestellt durch ein neues Ätzverfahren. Kruppsche Monatshefte 2, 117 (1921).

[2]) H. Meyer und W. Eichholz, über die Bedingungen zur Erzielung von Kraftwirkungsfiguren in Flußeisen durch makroskopische Ätzverfahren. Werkstoffausschuß des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. Bericht Nr. 20. Verlag Stahleisen, Düsseldorf; ferner Eichholz, desgl., Bericht Nr. 32.

Zahlentafel 4. Wirkung der künstlichen Alterung auf weiches Flußeisen.

Eigenschaften	ungereckt	nach dem Vorrecken 10 Tage lang einer Temperatur von 200° ausgesetzt I[3])	II[4])
Streckgrenze . . . . kg/mm²	23	32	34
Bruchgrenze . . . . „	36,2	40,9	41,7
Dehnung (5 d) . . . . vH	39,7	30,0	29,5
Einschnürung . . . . „	71	67	69
Spezifische Schlagarbeit „			
a) Normalstab 30 ⌀ × 160 mm Rundkerb	25,0	2,8	3,2
b) Probestab 15 ⌀ × 80 mm Rundkerb	18,0	2,4	2,2
c) Probestab 15 ⌀ × 80 mm Scharfkerb	13,4	1,8	1,9

Wie stark das weiche Flußeisen durch Rekristallisation geschädigt werden kann, sei durch einige Versuchsergebnisse erläutert. Einige Stäbe aus dem zylindrischen Probeteil des Versuchskessels wurden in der Zerreißmaschine bei 25 und 27 kg/mm² vorgereckt. Hierauf wurden sie 6 Stunden lang bei 730° ausgeglüht und an der Luft abgekühlt. Nach dieser Wärmebehandlung zeigten die Stäbe die in Zahlentafel 5 wiedergegebenen Werte. Während die Ergebnisse des normalen Zugversuches keine Verschlechterung des Materials erkennen lassen, sind sämtliche Werte der spezifischen Schlagarbeit gegenüber dem normal bei etwa 920° ausgeglühten Material stark erniedrigt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß durch Altern oder Rekristallisation spröde gewordenes Flußeisen durch normales Ausglühen bei etwa 920° seine normalen Eigenschaften wieder erhalten kann.

Legierte Kesselbaustoffe.

Bevor die Frage untersucht werden kann, ob andere Stahlsorten als das Flußeisen zum Kesselbau herangezogen werden dürfen, muß festgestellt werden, welche Gründe den Gesetzgeber seinerzeit veranlaßt haben, für diese Zwecke nur das weiche



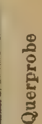


Abb. 9. Kraftwirkungsfiguren in gealtertem Kesselblech (nat. Größe).

Zahlentafel 5. Rekristallisationswirkungen an weichem Flußeisen.
(Nach dem Vorrecken während 6 Stunden auf 730° erhitzt.)

Probe Nr.	Vorreckspannung kg/mm²	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung 5 d vH	Einschnürung vH	Spezifische Schlagarbeit mkg/cm²
1	25	21	33,7	40,0	75	5,3[5])
2	25	20	33,8	38,8	75	3,7[6]) / 2,9[7])
3	27	23	34,5	38,0	75	4,6[5])
4	27	23	34,6	38,7	75	3,2[6]) / 3,0[7])

[3]) Vorgereckt auf 25 kg/mm². [4]) Vorgereckt auf 27 kg/mm².
[5]) Normale Kerbschlagprobe 30 quadr. × 160 mm Rundkerb.
[6]) Kleine „ 15 „ × 80 „ „
[7]) „ „ 15 „ × 80 „ Scharfkerb.

Flußeisen zuzulassen. Die wesentliche Beschränkung ist darin zu sehen, daß unmittelbar von der Flamme bestrichenes Kesselblechmaterial keine höhere Festigkeit als 41 kg/mm² haben darf. Daß die höhere Festigkeit an sich kein Hindernis für die Verwendung sein kann, ist selbstverständlich. Es ist also anzunehmen, daß man befürchtet, mit der erhöhten Festigkeit könnte eine andre, ungünstige Eigenschaft verbunden sein, z. B. erhöhte Sprödigkeit, schwierigere Arbeit in der Kesselschmiede, Gefahr im Betriebe. Die Arbeit in der Kesselschmiede verlangt gute Dehnbarkeit bei gewöhnlicher Temperatur, d. h. das Blech muß sich leicht biegen lassen, ferner muß es bei höherer Temperatur ziemlich weitgehende Formänderungen ertragen, z. B. beim Bördeln. Die Dehnbarkeit bei gewöhnlicher Temperatur wird durch die Vorschrift einer Mindestdehnung beim Zerreißversuch sowie durch eine besondere Kaltbiegeprobe sichergestellt; hier begründen die Anforderungen also keine Begrenzung der Festigkeit nach oben. Die Dehnbarkeit bei höherer Temperatur wird durch eine Ausbreiteprobe ermittelt. Es ist mir kein Fall bekannt, in dem diese Probe versagt hätte; dies ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß das Auswalzen eines Blockes zum Blech eine viel größere Beanspruchung als die übliche Ausbreiteprobe bedeutet.

Gewissen abnormalen Betriebsvorgängen, bei denen der Kessel örtlich auf Rotglut erhitzt wird, soll das Kesselmaterial ebenfalls einen genügenden Widerstand entgegensetzen. Unter dem Innendruck soll sich die rotwarme Stelle nur ausbeulen, nicht aufreißen. Weiterhin soll bei der nachfolgenden plötzlichen Abkühlung durch Wasser die glühende Stelle nicht hart oder spröde werden.

Es ist anzunehmen, daß die Härtebiegeprobe dazu bestimmt ist, festzustellen, ob das Material der beschriebenen Beanspruchung gewachsen ist. Abgesehen von der Frage, warum die Nichthärtbarkeit vom Kesselblechmaterial überhaupt verlangt wird, ist die Härtebiegeprobe in der vorgeschriebenen Ausführung nicht geeignet, die Härtbarkeit eines Baustoffes erkennen zu lassen. Härtung tritt bekanntlich nur dann ein, wenn der Umwandlungspunkt beim Erhitzen überschritten wird. Dies ist aber bei der Erhitzung der Proben auf dunkle Rotglut nicht der Fall. Über die Härtbarkeit des Materials gibt die chemische Zusammensetzung, insbesondere der Kohlenstoffgehalt, weit besser Auskunft als die Härtebiegeprobe.

Auf die Notwendigkeit, nach anderen Kesselbaustoffen als den bisherigen Ausschau zu halten, wird man durch den Umstand gelenkt, daß es aus konstruktiven und fabrikatorischen Gründen nicht geht, die Dicke des Kesselbleches über ein gewisses Maß hinaus zu erhöhen. Da nicht zu erkennen ist, wie die Begrenzung der Festigkeit auf 41 kg/mm² begründet werden kann, wird man berechtigt sein, als zulässige Kesselbaustoffe auch solche zu bezeichnen, die zwar höhere Zugfestigkeit haben, im übrigen aber bezüglich Zähigkeit, Nichthärtbarkeit dem weichen Flußeisen mindestens ebenbürtig sind.

Ferner wird man dort, wo keine unmittelbare Beheizung des Kessels durch Feuerungen erfolgt, insbesondere bei Dampfspeichern, auch solche Baustoffe als zulässig erklären können, die hohe Festigkeit aufweisen und härtbar sind. Das Fallenlassen der Forderung der Nichthärtbarkeit für diese Zwecke eröffnet dem Kesselbau weiterhin eine ganze Reihe von Konstruktionsmaterialien.

Der fünfprozentige Nickelstahl.

Der kohlenstoffarme Nickelstahl (Nickelflußeisen) teilt mit dem weichen Flußeisen die Eigenschaft der Nichthärtbarkeit. Auch in bezug auf sein Verhalten bei der Formgebung (Bördeln und dergl.) ist er ihm ähnlich, dagegen läßt er sich nicht wie Flußeisen leicht im Feuer schweißen. Zum Vergleich der übrigen Eigenschaften seien im Nachstehenden Versuchsergebnisse wiedergegeben, die an einem hohlgeschmiedeten, an beiden Enden zugekümpelten Versuchskessel gewonnen sind.

Eigenschaften bei verschiedenen Temperaturen.

Zahlentafel 6 zeigt in ähnlicher Weise wie für Flußeisen die Eigenschaften des fünfprozentigen Nickelstahls bei gewöhnlicher Temperatur. Ein Vergleich mit den Werten für Flußeisen läßt erkennen, daß Streckgrenze und Bruchgrenze beim Nickelstahl wesentlich höher sind. Während die Streckgrenze des Flußeisens zwischen 21 und 25 kg/mm² liegt, zeigt der Nickelstahl eine solche von 34 bis 40 kg/mm². Die Bruchgrenze, die beim Flußeisen zwischen 36,4 und 37,3 beträgt, steigt beim Nickelstahl auf 49,6 bis 53. Dehnung und Einschnürung liegen beim Nickelstahl etwas niedriger, dafür ist die Kerbzähigkeit des geglühten Nickelstahls derjenigen des Flußeisens gleich, während die des vergüteten Stahls dem vergüteten Flußeisen überlegen ist. Das Gesamtbild der Eigenschaften bei gewöhnlicher Temperatur spricht also insofern sehr zugunsten des Nickelstahls, als bei gleichbleibender Zähigkeit Streck- und Bruchgrenze höher als bei Flußeisen sind; zudem ist namentlich auch beim vergüteten Material das Verhältnis zwischen Streckgrenze und Bruchgrenze höher.

Die Werte für Streckgrenze, Bruchgrenze, Dehnung, Einschnürung und Kerbzähigkeit bei höheren Temperaturen sind in Zahlentafel 7 und Abbildung 10 wiedergegeben.

Zahlentafel 6. Mechanische Eigenschaften von 5 prozentigem Nickelstahl aus einem nahtlos geschmiedeten und an beiden Enden zugekümpelten Kessel. Versuchstemperatur 20⁰.

Probe	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (5 d) vH	Einschnürung vH	spezifische Schlagarbeit mkg/cm²
a) Werkstoff geglüht.					
Zylindrischer Teil, längs[1])	40	52.2	32,8	69	26,5[1])
Zylindrischer Teil, quer .	38	50,8	30,8	66	18,0
Gekümpelter Teil, längs .	34	50,1	32,3	69	27,8
Gekümpelter Teil, quer .	35	49,6	31,2	65	14,6
b) Werkstoff vergütet.					
Zylindrischer Teil, längs .	40	53,0	33,3	74	n. d.
Zylindrischer Teil, quer .	40	50,8	33,3	74	20,4
Gekümpelter Teil, längs .	35	49,7	31,2	72	31,9
Gekümpelter Teil, quer .	35	49,9	33,3	71	20,7

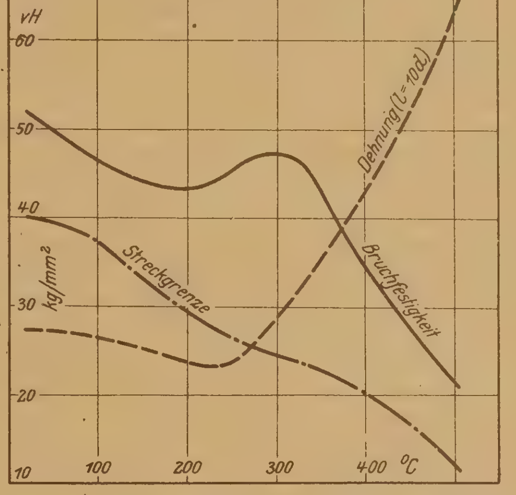


Abb. 10. Abhängigkeit der Festigkeitseigenschaften geglühten fünfprozentigen Nickelstahls von der Temperatur.

Der Verlauf der Kurve für die Bruchfestigkeit ist etwas verschieden von derjenigen des Flußeisens. Während letzteres bei etwa 250 ° einen Wert zeigt, der höher liegt als die Festigkeit bei gewöhnlicher Temperatur, sinkt die Festigkeit des Nickelstahls zunächst, und zwar von 52 kg/mm² bei gewöhnlicher Temperatur auf 43 kg/mm² bei 200 °. Hierauf erhebt sich die

Zahlentafel 7.
Mechanische Eigenschaften von fünfprozentigem Nickelflußeisen bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur °C	Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (10 d) vH	Dehnung (5 d) vH	Einschnürung vH	Spezifische Schlagarbeit (Normalprobe) mkg/cm²
a) Werkstoff geglüht						
100	38	46,6	26,5	36,7	69	27,0
205	29	43,7	24,9	32,2	70	27,0
250	25	43,3	21,9	27,8	67	—
310	25	48,2	30,7	40,4	69	26,4
350	23	43,3	36,7	49,2	76	—
410	20	31,7	42,0	58,1	84	22,7
510	12	20,4	67,0	92,6	88	16,5
510	11	19,5	63,5	87,7	89	—
570	—	—	—	—	—	21,9
b) Werkstoff vergütet						
100	38	46,8	24,6	34,2	76	n. d.
205	30	47,2	26,3	34,8	76	n. d.
250	25	44,5	22,5	26,9	74	—
310	25	49,5	28,7	35,9	72	32,9
350	23	45,6	35,2	46,9	78	—
410	20	35,8	40,1	50,3	83	27,1
510	13	21,1	61,1	81,1	89	23,9
570	—	—	—	—	—	29,0

[1]) Für diese Zahlentafel gilt auch die Fußnote von Zahlentafel 1.

Kurve wieder auf etwa 48 kg/mm², um dann rasch auf 20 kg/mm² bei 500 ° abzufallen. Vergleicht man die Werte für die Festigkeit innerhalb des Temperaturgebietes von 198 bis 311 °, entsprechend dem Dampfdruck von 14 bis 100 at, so erscheint die Festigkeit des Nickelstahls in diesem Temperaturgebiet nicht viel verschieden von der des Flußeisens.

Die Streckgrenze des Nickelstahls sinkt ziemlich gleichmäßig mit der Temperatur, ebenso wie beim Flußeisen, sie liegt aber stets wesentlich höher als bei Flußeisen. In dem Gebiet zwischen 198 und 311 ° erniedrigt sich beim Nickelstahl die Streckgrenze von 30 auf etwa 23 kg/mm², während sie beim Flußeisen von 20 auf 14 kg/mm² sinkt. Dies ist ein für den Konstrukteur sehr beachtenswerter Umstand, da er zeigt, daß

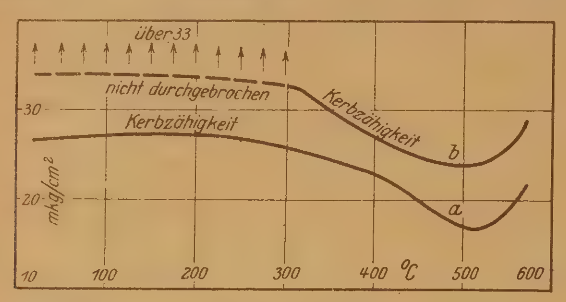


Abb. 11. Abhängigkeit der Kerbzähigkeit von 5 vH-Nickelstahl. *a* geglüht, *b* vergütet.

die Streckgrenze des Nickelstahls bei den Betriebstemperaturen des Kessels ebenso hoch wie diejenige des Flußeisens bei gewöhnlicher Temperatur ist.

Die Kurven der Kerbzähigkeit für geglühtes und vergütetes Blech sind in Abb. 11 wiedergegeben. Vergleicht man diese Zahlenwerte mit denjenigen für Flußeisen, so fällt auf, daß die Kerbzähigkeit des Nickelstahls erst oberhalb 300 ° merklich abzufallen beginnt, während das Flußeisen bereits von 200 ° an eine deutliche Verminderung der Zähigkeit erkennen läßt. Vergleicht man die entsprechenden Werte des vergüteten Nickelstahls, so zeigt sich, daß bis zu 300 ° die Proben durch den Kerbschlag überhaupt nicht gebrochen, sondern nur durchgebogen werden. Erst von 300 ° ab verläuft der Kerbschlagversuch unter Bruch der Probe. Die Werte für die spezifische Schlagarbeit sinken von etwa 33 mkg/cm² bei 300 °, auf einen Mindestwert von 24 mkg/cm² bei 500 °, um hierauf wieder anzusteigen. Das Gesamtbild des Nickelstahls ist hiernach insofern dem für Flußeisen überlegen, als bei mindestens gleichbleibenden Zähigkeitseigenschaften eine wesentlich höhere Streckgrenze bei allen Temperaturen vorliegt.

Das Altern.

Entsprechend den Alterungsversuchen an Flußeisen wurde auch der fünfprozentige Nickelstahl künstlich gealtert. Die Ergebnisse sind in Zahlentafel 8 aufgeführt. Die Zahlenwerte lassen erkennen, daß keine Schädigung der Zähigkeit eingetreten ist, und der Stahl nach der Alterung die gleiche Sicherheit gegen statische und dynamische Belastung wie vorher aufweist.

Rekristallisation.

Zahlentafel 9 vereinigt die Festigkeitswerte von Proben, die einer Behandlung auf Rekristallisation unterworfen worden waren, wie schon beim Flußeisen beschrieben ist. Während das Flußeisen durch die Rekristallisation seine Zähigkeit in hohem Maße einbüßte, erscheint der fünfprozentige Nickelstahl auch gegen diese Behandlung praktisch unempfindlich.

Andere legierte Kesselbaustoffe.

Bei den bisher besprochenen Stahlsorten, dem weichen Flußeisen und dem fünfprozentigen Nickelstahl, handelte es sich

Zahlentafel 8. Wirkung der künstlichen Alterung auf fünfprozentigen Nickelstahl.

Eigenschaften	ungereckt	nach dem Vorrecken 10 Tage lang einer Temperatur von 200 ° ausgesetzt	
		I[1])	II[2])
Streckgrenze . . . . kg/mm²	40	55,7	56,0
Bruchgrenze . . . . „	52,2	57,5	57,6
Dehnung (5 d) . . . vH	33,3	23,3	22,5
Einschnürung . . . „	68	60	71
Spezifische Schlagarbeit			
a) Normalstab 30 × 160 mm Rundkerb	26,5	24,2	30,5
b) Probestab 15 × 80 mm Rundkerb	17,6	15,1	18,7
c) Probestab 15 × 80 mm Scharfkerb	15,2	13,4	14,2

[1]) Vorgereckt auf 43 kg/mm². [2]) Vorgereckt auf 43 kg/mm²

um nicht härtbare Legierungen, d. h. solche, die durch Erhitzen über ihren Umwandlungspunkt und nachfolgendes Ablöschen in Wasser keine erhebliche Erhöhung der Härte, namentlich aber keine Einbuße ihrer Zähigkeit erfahren.

Zahlentafel 9. Rekristallisationswirkungen an fünfprozentigem Nickelstahl. (Stäbe nach dem Vorrecken während 6 Stunden auf 730° erhitzt; an der Luft erkaltet.)

Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (5 d) vH	Einschnürung vH	Abmessung	Kerbform	Spezif. Schlagarbeit mkg/cm²
34	52,8	30,7	68	30 ⌀ × 160	U	27,1
34	52,1	30,0	68	15 ⌀ × 80	„	>18,2
				„	V	14,1
33	52,0	32,0	67	30 ⌀ × 160	U	27,2
34	51,9	31,8	67	15 ⌀ × 80	„	19,0
					V	14,7

Sieht man von der Forderung der Nichthärtbarkeit ab, und für viele Zwecke des Kesselbaues (z. B. Dampfspeicher) scheint dies durchaus zulässig, so vergrößert sich die Zahl der in Betracht kommenden Materialien sehr erheblich. Auf anderen Konstruktionsgebieten, insbesondere bei der Kriegsmarine, macht man schon seit geraumer Zeit von sehr hochwertigen Stahlsorten in Blechform Gebrauch. Wenn auch hier die Kosten nicht die Rolle wie beim Dampfkesselbau spielen, so scheint man bisher noch keine ausführlichen Vergleichsberechnungen ausgeführt zu haben, um festzustellen, ob nicht doch Gewichtersparnis, Erleichterung der Konstruktion und Herstellung der Kessel so erheblich sind, daß sich die Verwendung hochwertigen, wenn auch in der Gewichteinheit teureren Materials lohnt.

In Zahlentafel 10 ist eine Anzahl von Beispielen von Spezialblechen aufgeführt, die für besondere Zwecke bereits geliefert worden sind. Wenn auch nicht daran gedacht werden kann, sie für den laufenden Kesselbau zu verwenden, so beweisen die Zahlen, insbesondere die für die Kerbzähigkeit, was die Edelstahlindustrie auf dem Gebiete der hochwiderstandsfähigen Bleche zu leisten imstande ist.

Zahlentafel 10. Eigenschaften verschiedener Bleche für hohe Leistungen.

Verwendung und Stahlsorte		Streckgrenze kg/mm²	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung (10 d) vH	Einschnürung vH	Spezifische Schlagarbeit mkg/cm²
1. Schiffskessel-Mantelblech Manganstahl	l[3])	35,3	57,4	25	41	—
	q	32,8	52,7	23	32	—
2. Manganstahlblech	l	35,0	53,5	29,0	59	18,5
	q	35,0	52,5	27,0	56	14,3
3. Nickelstahlblech 20 mm	l	31,0	48,5	28,0	64	29,4
	q	30,0	47,8	26,0	63	19,6
4. Nickelstahlblech 50 mm	l	31,0	48,8	33,0	55	24,4
	q	33,0	49,4	28,0	45	20,4
5. Chromnickelstahlblech vergütet	l	—	87,5	18,8	49	15,9
	q	—	89,5	13,0	49	11,9
6. Chromnickelstahlblech vergütet	l	rd. 56	90,7	17,4	30	13,6
	q	rd. 56	86,6	18,0	36	14,8
7. Chromnickelstahlblech 40 mm vergütet	q	41	79,6	18,8	44	16,6

Da die Kosten des fünfprozentigen Nickelstahls in vielen Fällen so erheblich sein werden, daß nur verhältnismäßig geringe Verwendung in Frage kommt, erschien es wertvoll, an einem weniger hoch legierten Nickelstahl Untersuchungen ähnlicher Art wie oben anzustellen. Es wurde jedoch aus diesem Werkstoff kein Probekessel, sondern Probestangen geschmiedet, bei denen der Grad des Verschmiedens entsprechend dem bei der Herstellung von Kesseln gewählt wurde.

Die Eigenschaften des dreiprozentigen Nickelstahls in verschiedenen Behandlungszuständen bei verschiedenen Temperaturen sind in Zahlentafel 11 zusammengestellt. Ein Vergleich

Zahlentafel 11. Eigenschaften von dreiprozentigem Nickelstahl.

Zustand	geglüht	vergütet	geglüht	geglüht
Versuchstemperatur . . °C	20	20	250	350
Streckgrenze . . . kg/mm²	30	33	20	18
Bruchgrenze . . . „	43,8	45,1	40,5	38,1
Dehnung 10 d . . . . vH	27,5	27,3	21,9	33,1
„ 5 d . . . . . . „	36,0	35,5	28,6	45,6
Einschnürung . . . . . „	71	76	63	73
Spezifische Schlagarbeit (Normalprobe) mkg/cm²	27,3	nicht durchschlagen	26,6	25,4

[3]) *l* = Längsprobe; *q* = Querprobe.

dieser Werte mit denjenigen für fünfprozentigen Nickelstahl läßt erkennen, daß auch bereits bei wesentlich niedrigerem Nickelgehalt die Vorteile des legierten Stahles erzielt werden können.

Auch die Frage der Empfindlichkeit gegen Altern und Rekristallisieren wurde durch Erhitzen vorgereckter Stäbe auf 200 ° während 10 Tagen, auf 730 ° während 6 Stunden,

Zahlentafel 12. Wirkung der künstlichen Alterung und Rekristallisation auf die Eigenschaften des dreiprozentigen Nickelstahls.

Zustand	ungereckt	gealtert	rekristallisiert
Streckgrenze kg/mm²	30	42	28
Bruchgrenze „	43,8	47,1	42,2
Dehnung 5 d . . vH	36,0	26,0	33,0
Einschnürung . „	71	67	70
Spezifische Schlagarbeit (Normalprobe) mkg/cm²	27,3	24,5	26,0

geprüft. Die Werte in Zahlentafel 12 bestätigen auch für diese Eigenschaften, daß der dreiprozentige Nickelstahl ähnliche Vorteile wie der fünfprozentige aufweist.

Schlußfolgerungen.

Die vorstehenden Darlegungen lassen erkennen, daß die Beziehungen zwischen den Werkstoffeigenschaften sowie den Konstruktionsgrundlagen, dem Bau und Betrieb der Kessel durchaus nicht so einfach sind, wie vielfach geglaubt wird. Es seien daher einige der wichtigsten Ueberlegungen herausgegriffen.

Der Berechnung der Kesselkörper legt man die Bruchfestigkeit zugrunde und schreibt eine zulässige Höchstspannung vor, die einen Bruchteil der Bruchfestigkeit beträgt. Es ergibt sich auf diese Weise, daß z. B. bei einer Festigkeit von 34 kg/mm² und einer Sicherheit von 4,5 die zulässige Spannung 34 : 4,5 = 7,5 kg/mm² beträgt. Von einem nach diesen Regeln gebauten Kessel nimmt man an, daß er eine 4,5fache Sicherheit hat.

Nun ist weiter oben gezeigt worden, daß jede Beanspruchung von weichem Flußeisen über die Streckgrenze hinaus eine Veränderung der Eigenschaften des Materials zur Folge hat, die mit Hilfe der Kerbschlagprobe nachgewiesen werden kann. Wenn auch die Beanspruchung im Kessel von andrer Art als bei der Kerbschlagprobe ist, so ist doch jede Schädigung der Werkstoffeigenschaften unerwünscht. Es ist also zu prüfen, wie groß die Sicherheit noch ist, wenn man die Streckgrenze als ein oberes Maß für die Spannung betrachtet, das nicht überschritten werden darf. Als Streckgrenze für Flußeisen mit 34 kg/mm² Bruchgrenze sei eine Spannung von 20 kg/mm² angenommen. Da auf Grund der ersten Berechnung eine Spannung von 7,5 als zulässig gilt, besteht bezüglich der Streckgrenze eine Sicherheit von 20 : 7,5 = 2,7.

Nun darf nicht übersehen werden, daß die Streckgrenze bei zunehmender Temperatur nicht wie die Festigkeit bis zu einem Höchstwert in der Nähe von 200 ° steigt, sondern auf etwa 17 kg/mm² sinkt. Bei dieser Betriebstemperatur, die einem Dampfdruck von 14 at entspricht, ist die Sicherheit, bezogen auf die gesteigerte Bruchfestigkeit von 44 kg/mm², beinahe 6fach, auf die Streckgrenze von 17 kg/mm² bezogen, dagegen nur 2,2fach! Legt man die einem Druck von 100 at entsprechende Temperatur von 300 ° zugrunde, so sinkt die Sicherheit, bezogen auf die Streckgrenze von 13 kg/mm², auf 1,7. In Wirklichkeit ist die Sicherheit aber wesentlich geringer, da die mittlere Temperatur der beheizten Kesselteile wesentlich höher als die Wassertemperatur ist.

Eine weitere Verminderung der Sicherheit wird dadurch zu erwarten sein, daß die Formeln keine Rücksicht auf zusätzliche Spannungen nehmen. Während dies für nahtlos geschmiedete oder gewalzte Trommeln zulässig sein mag, sind bei genieteten, insbesondere überlappt genieteten Kesselschüssen solche zusätzliche Spannungen bestimmt zu erwarten. Die Abweichung vom Kreisbogen bei der Ueberlappungsnietung wird zudem bei beiden Blechen an den Nieträndern Biegungen herbeiführen, die sich bei jeder Druck- und Temperaturschwankung wiederholen. Uebersteigen diese Biegungen die Streckgrenze, oder finden sich Anrisse vor, so wird im Lauf der Zeit ein Ermüdungsbruch eintreten. Dies wird um so früher der Fall sein, je niedriger die Streckgrenze liegt, wie Rittershausen und Fischer[1]) nachgewiesen haben.

Alle diese Ueberlegungen weisen auf die Notwendigkeit hin, bereits bei der Berechnung des Kessels die Streckgrenze zu berücksichtigen und bei der Wahl des Werkstoffs solchen mit höherer Streckgrenze zu bevorzugen. Dies setzt voraus, daß es gelingt, die Vorschrift der Höchstfestigkeit von 41 kg/mm² für Kesselbleche zu beseitigen.

[1]) Fr. Rittershausen und Fr. P. Fischer, Dauerbrüche an Konstruktionsstahlen und die Kruppsche Dauerschlagprobe. Kruppsche Monatshefte 1, 93 (1920).

Die Beanspruchungen und Veränderungen des Materials sind besonders einschneidender Natur bei der Herstellung der Kesselkörper. Die Kesseltrommeln können auf verschiedene Weise hergestellt werden: aus Blechen gebogen, die Stöße durch Nietung verbunden; aus Blechen gebogen, die Stöße durch Schweißung verbunden; aus gelochten Blöcken nahtlos gewalzt; aus gelochten Blöcken hohl geschmiedet.

Beim Biegen der Bleche tritt außen eine Streckung, innen eine Stauchung des Materials ein, diese Beanspruchungen sind um so größer, je dicker das Blech im Verhältnis zum Biegungshalbmesser ist. Wird dabei die Streck- oder Quetschgrenze überschritten, so liegt eine Kaltbearbeitung vor, verbunden mit Gefügeänderung und Spannungen und den daraus sich ergebenden Folgen: Alterung und allenfalls Rekristallisation.

Beim Vernieten der Stöße finden durch die Pressungen zwischen den Blechen ebenfalls Kaltbearbeitung und Gefügeänderungen statt, selbst dann, wenn der Nietdruck nicht übermäßig ist. Auch bei sorgfältigster Ausführung der Arbeit können diese Nachteile nicht ganz vermieden werden. Ferner bildet jedes Niet gewissermaßen einen Knotenpunkt der Kräfte. Die bei der Rechnung angenommene gleichmäßige Verteilung ist in Wirklichkeit nicht vorhanden, auch nicht, wenn die Kraft in der Hauptsache durch die Reibung übertragen wird, denn diese ist in unmittelbarer Nähe der Nieten größer als in den entfernteren Punkten.

An Stellen, wo der Nietschaft die Kraft überträgt, findet eine Quetschung in der Bohrung statt, die sich ebenfalls nicht gleichmäßig auf die Nietlänge oder den ganzen Blechquerschnitt verteilt, sondern an den Endflächen verstärkt, was Veranlassung zu Anrissen geben kann, um so mehr, als hier bereits durch die Nietarbeit Gefügeänderungen eingetreten sind. Hierzu kommt noch der ungünstige Einfluß örtlicher Erhitzung beim Einziehen der Nieten.

Die erwähnten nachteiligen Folgen des Vernietens ließen sich vollständig durch ein Ausglühen des fertigen Kessels beseitigen. Das verbietet sich aber, weil dadurch die Nietverbindungen gelockert und der Kessel undicht würde. Dagegen scheint es möglich, den gebogenen und gehefteten Kessel auszuglühen und dann erst zu nieten. Wenn auf diese Weise auch die mit der Nietung verbundenen örtlichen Quetschungen nicht ganz vermieden werden können, so erreicht man wenigstens, daß die Wirkung des Nietens ein vollkommen einwandfreies Blech trifft, das nicht bereits durch vorhergegangene bleibende Deformation verschlechtert worden ist.

Bei dem Kessel mit geschweißtem Stoß fallen die Schädigungen, die durch das Nieten entstehen, und die Ungleichheiten der Kraftübertragung fort. Die Einflüsse der örtlichen Erhitzung beim Schweißen können hier durch nachträgliches Ausglühen in der Hauptsache ausgeglichen werden. Dem geschweißten Kessel steht jedoch ebenfalls nur ein beschränktes Anwendungsgebiet zur Verfügung, da sich nicht alle Werkstoffe gut schweißen lassen und die Schwierigkeiten der Schweißung mit der Dicke des Bleches wachsen.

Aus dem Gesagten erhellt, daß es erstrebenswert ist, die Kesseltrommeln nahtlos herzustellen, um die wunden Stellen zu vermeiden und die größtmögliche Sicherheit zu erreichen. Nahtlose Trommeln können gewalzt oder geschmiedet werden. Der volle Stahlblock wird gelocht, aufgeweitet und durch Auswalzen oder Schmieden über einem Dorn auf den gewünschten Durchmesser gebracht. Beim Auswalzen ist man in der Länge sehr beschränkt, man erreicht nicht die Länge, welche der Kesselbau für die Trommeln fordert. Man ist daher gezwungen, zwei, unter Umständen drei Schüsse aneinander zu setzen und durch Nietung zu verbinden. Die lästige Längsnaht ist zwar weggefallen, aber die Rundnaht in der Mitte des Kessels ist geblieben, und auch sie ist sehr unerwünscht. Die Biegungsbeanspruchungen durch das Eigengewicht und besonders durch die ungleiche Ausdehnung beim Anheizen des Kessels rufen eine außerordentliche Belastung der Rundnaht hervor und können zu Schäden führen.

Beim Schmieden der Trommeln ist man in der Länge innerhalb der praktischen Anforderungen unbeschränkt. Es fällt daher auch die Rundnaht in der Mitte fort. Beim zylindrisch geschmiedeten Kessel bleiben nur die Rundnähte an den Enden für die Befestigung der Böden, die weniger bedenklich sind. Immerhin ist es ein Vorteil, wenn auch diese vermieden werden können. Bei den für die Hochspannungskessel erforderlichen großen Wandstärken ergeben sich sehr lange Nieten, und man ist nie sicher, ob sie bei Herstellung des Schließkopfes in ihrer ganzen Länge gestaucht werden und die Nietlöcher voll ausfüllen.

Man kann nun auch diese Endrundnähte umgehen, indem man die Trommeln an den Enden halbkugelförmig einzieht und dort nur eine Mannlochöffnung beläßt. Man kommt so zu einer Trommel ohne jede Nietverbindung und damit zu einem idealen Kessel. Bei der Herstellung einer solchen geschmiedeten Trommel hat man in der Wahl des Werkstoffes den weitesten Spielraum. Man kann sie jeder Wärmebehandlung unterziehen und damit die bestmöglichen, in allen Teilen gleichmäßig vorhandenen Materialeigenschaften erzielen. [2132]

Ein neues Regelverfahren für Windkraftwerke.

Von R. Bosselmann, Berlin.

Es werden zwei Regelverfahren beschrieben: 1) Das eine stellt die der jeweiligen Windgeschwindigkeit entsprechende günstigste Schaufelgeschwindigkeit durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses selbsttätig genau ein und ermöglicht die Verwendung von Dynamos für gleichmäßige Umlaufzahl; 2) das andre regelt selbsttätig die Netzspannung, macht den Zellenschalterbetrieb und jegliche Schalttafelbedienung entbehrlich und gestattet dabei Spitzenbelastungen, die auch bei Windstille die normale Dynamoleistung um ein Vielfaches übersteigen können.

Der Überfluß an festen und flüssigen Brennstoffen in Deutschland mag in erster Linie Ursache für das geringe Interesse gewesen sein, das man in der Vorkriegszeit der Nutzbarmachung der Windkraft entgegenbrachte. In dem kohlen- und wasserkraftarmen Dänemark ist man notgedrungen, zum Teil mit staatlicher Unterstützung, diesem Problem viel energischer zu Leibe gegangen, und hier war es Professor la Cour, der sich um die Entwicklung des Windmotors große Verdienste erworben hat. Diese Aufgabe wurde in Deutschland in dankenswerter Weise von denjenigen Privatfirmen und Fachleuten übernommen, die sich mit dem Bau solcher Anlagen befaßten; es ist nicht bekannt geworden, daß andere Stellen sich mit Liebe der Sache angenommen hätten oder staatliche Mittel für Versuche zur Verfügung gestellt worden wären.

Der Krieg mit seinen üblen wirtschaftlichen Folgen hat der Beschäftigung mit dem Windkraftproblem einen neuen starken Anreiz gegeben. Aus der einschlägigen Fachliteratur und den an ausgeführten Anlagen gewonnenen Erfahrungen geht klar hervor, daß die Windkraftwerke nach dem heutigen Stande ihrer Technik hauptsächlich die in den folgenden drei Punkten aufgeführten Mängel aufweisen:

1) Über die zweckmäßige Durchbildung der Schaufelform herrscht unter den Fachleuten noch keine volle Übereinstimmung.
2) Es gab bei den verschiedenen Antrieben bisher noch keine Vorrichtung, die es ermöglichte, die der jeweiligen Windgeschwindigkeit entsprechende günstigste Schaufelgeschwindigkeit in jedem Augenblick selbsttätig richtig und zuverlässig einzustellen.
3) Unentbehrlichkeit ständiger Schalttafelbedienung bei den stromerzeugenden Anlagen, sobald in Tag- und Nachtbetrieb restlose Ausnutzung der Windkraft und unveränderliche Netzspannung bei jedem Strombedarf und jeder Belastungsschwankung gefordert wurde.

Hier sind die Aufgaben gegeben, von deren Lösung es aller Wahrscheinlichkeit nach abhängen wird, ob die Windkraftwerke in Zukunft zu einer größeren Bedeutung als bisher für unsere Energiewirtschaft gelangen werden oder nicht.

In den nachfolgenden Zeilen soll auf die Punkte 2 und 3 näher eingegangen werden. Die im Punkt 1 gestellte Aufgabe kann nur durch eine gründliche wissenschaftliche Erforschung im Zusammenhang mit eingehenden Versuchen gelöst werden, wie es in zäher, zielbewußter Arbeit mit dem Flugzeugpropeller geschah.

Schaufelgeschwindigkeit.

Das mechanische Regelverfahren.

Prof. la Cour gibt als günstigste Schaufelgeschwindigkeit, bei einer Schrägstellung der Flügelflächen von 10° an der Flügelspitze, das 2,4fache der Windgeschwindigkeit an. Diese Verhältniszahl ist an einer 4flügeligen Windmühle ermittelt worden bei einer Windgeschwindigkeit von 5 bis 6 m. Es gehört zu der unter Punkt 1 erwähnten Aufgabe, diese Zahl für mehrflügelige Windräder für den ganzen Bereich der nutzbaren Windstärken festzustellen.

Bei den rotierenden Kraftmaschinen — den Wassermotoren und einstufigen Dampfturbinen — ist die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades = ⅓ bis ½ der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums. Damit würde die Ermittlung von La Cour gut übereinstimmen. Um die Wichtigkeit der Umfangsgeschwindigkeit zu zeigen, ist in Abb. 1 die Leistung eines 6-m-Windrades bei 8 m Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schaufelgeschwindigkeit aufgetragen. Es ändert an der Charakteristik des Kurvenlaufes nichts, wenn die Versuche ergeben sollten, daß der Scheitelpunkt der Parabel nicht genau in der Mitte liegt. — Wir sehen, daß nur eine verhältnismäßig geringe Über- oder Unterschreitung der bei 0,5 angenommenen günstigsten Schaufelgeschwindigkeit genügt, um die Leistung und den Wirkungsgrad des Rades steil abfallen zu lassen.

Es ist sehr interessant, nach dieser Richtung hin den Nutzeffekt eines ein Wasserschöpfwerk (Schneckenbetrieb) antreibenden Windmotors mit 6 m Raddurchmesser näher zu untersuchen. Bei gegebener Förderhöhe ist die für die Schnecke erforderliche Leistung proportional der Umlaufzahl und Fördermenge, das Drehmoment mithin gleichmäßig. Die Leistung des Windrades hingegen wächst bei günstigster Schaufelgeschwindigkeit mit der dritten Potenz, das auf die Radachse ausgeübte Drehmoment also mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit. Um auch bei schwachem Winde das Schöpfwerk ausnützen zu können, sei der Anlauf bei etwa 3 m, der beste Wirkungsgrad bei 4 m und die höchste Windgeschwindigkeit, bei der das Windrad aus der Windrichtung gedreht wird, bei 8 m angenommen.

Die Kurve *a* in Abb. 2 stellt bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten und den jeweils günstigsten Schaufelgeschwindigkeiten die höchste Leistungsfähigkeit des Windrades dar; diese wächst mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Die Kurve *c* zeigt den linearen Verlauf der dazugehörigen günstigsten Schaufelgeschwindigkeit in ihrem Verhältnis zur Kurve *b*, der Windgeschwindigkeit. Da das für den Betrieb der Schnecke erforderliche Drehmoment bei jeder Geschwindigkeit das gleiche ist, das Drehmoment des Windrades jedoch mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit wächst, so wird sich die günstigste Schaufelgeschwindigkeit nur in einem Punkt — nämlich bei dem vorhin zugrunde gelegten besten Wirkungsgrad — d. h. bei 4 m Windgeschwindigkeit einstellen. Bei jeder geringeren oder größeren Geschwindigkeit verschlechtert sich der Wirkungsgrad um so mehr, je größer die Abweichung von diesem Punkt ist. Die leicht gekrümmte Kurve *d* veranschaulicht die geringe Ausnutzungsmöglichkeit des Windrades unter den hier vorliegenden Antriebverhältnissen. Wir sehen, daß das Rad, wenn wir die Reibung der Ruhe vernachlässigen, erst bei 2,8 m Windgeschwindigkeit anläuft, bei 8 m nur 2,08 PS leistet und damit um 57 vH hinter der höchsten Leistungsfähigkeit zurückbleibt. Die schraffierte Fläche stellt die mit dem Winde verloren gehende Energie und die Kurve *e* schließlich den ungünstigen Verlauf der Schaufelgeschwindigkeit dar, die sich bei 8 m Windgeschwindigkeit auf das Verhältnis 0,88 einstellt. Beim Antrieb einer Kolbenpumpe gestalten sich die Antriebverhältnisse durch den sinusförmigen Verlauf der Tangentialkräfte noch ungünstiger.

Bei kleineren Bewässerungsanlagen wird man trotz des schlechten Wirkungsgrades der Billigkeit und Einfachheit halber von der bisherigen Antriebart nicht abgehen. Mit der Untersuchung einer solchen Anlage sollte nur nachgewiesen werden, wie wichtig es für größere Anlagen, insbesondere für Windkraft-Elektrizitätswerke, ist, eine selbsttätige, möglichst genaue Regelung der Schaufelgeschwindigkeit anzustreben. Hier fällt mit der Größe der Anlage immer schwerer das Anlagekapital ins Gewicht, d. h. die Notwendigkeit, die letzte Kilowattstunde aus der Anlage herauszuholen und ihre Wirtschaftlichkeit sicherzustellen. Der Wert

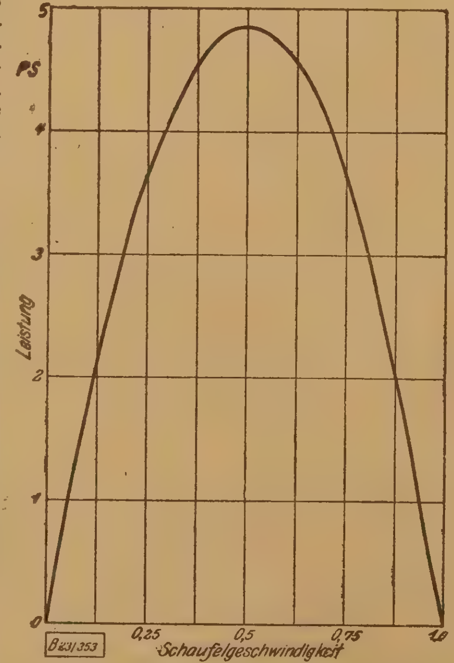


Abb. 1. Leistungskurve eines 6 m-Windrades in Abhängigkeit von der Schaufelgeschwindigkeit.

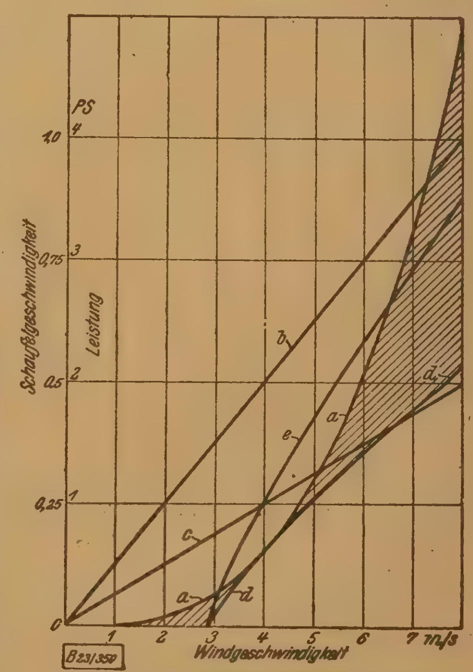


Abb. 2. Leistungsfähigkeit eines Windrades in Abhängigkeit von der Schaufel- und Windgeschwindigkeit.

einer solchen Einrichtung ist längst erkannt worden. Ein wichtiger Schritt vorwärts in dieser Richtung wurde getan durch die Einführung der Gegenkompounddynamo. Die genauen elektrischen und magnetischen Verhältnisse dieser Maschine sind nicht näher bekannt geworden; aus der Veröffentlichung „Wind-Elektrizität" von Dr.-Ing. Liebe[1]) geht nur hervor, daß diese Maschine bei einer Leistung von 9 kW und 300 bis 700 Umläufen 925 kg wiegt; das ist ungefähr das doppelte Gewicht einer gewöhnlichen Nebenschlußdynamo für die gleiche Leistung bei 700 Umläufen.

Da eine Nebenschlußdynamo an eine nahezu unveränderliche Umlaufzahl gebunden ist, so war sie für den gewöhnlichen Antrieb durch einen Windmotor ungeeignet. Man versah sie deshalb mit einer so groß bemessenen Reihenschluß-Gegenwicklung, daß bei steigender Umlaufzahl und Stromstärke durch entsprechende Schwächung des Feldes die Klemmenspannung in brauchbaren Grenzen gehalten werden konnte. Durch diese Maßnahme mußte naturgemäß das Gewicht der Maschine sehr groß ausfallen und der Wirkungsgrad sich erheblich verschlechtern. Sie arbeitete über einen Doppelzellenschalter auf eine Batterie. Berücksichtigt man die Veränderlichkeit der Ladespannung, die Krümmung der Magnetisierungskurve, wie überhaupt den Verlauf der Verlustkurven der Maschine, so ergibt sich mit voller Klarheit, daß es bei den bisher üblichen Antriebverhältnissen auch durch die Gegenerregung unmöglich ist, die günstigste Schaufelgeschwindigkeit bei jeder Windgeschwindigkeit selbsttätig einzuhalten. Immerhin brachte dieses Regelverfahren eine beachtenswerte Verbesserung gegenüber demjenigen la Cours mit dem gleitenden Riemen.

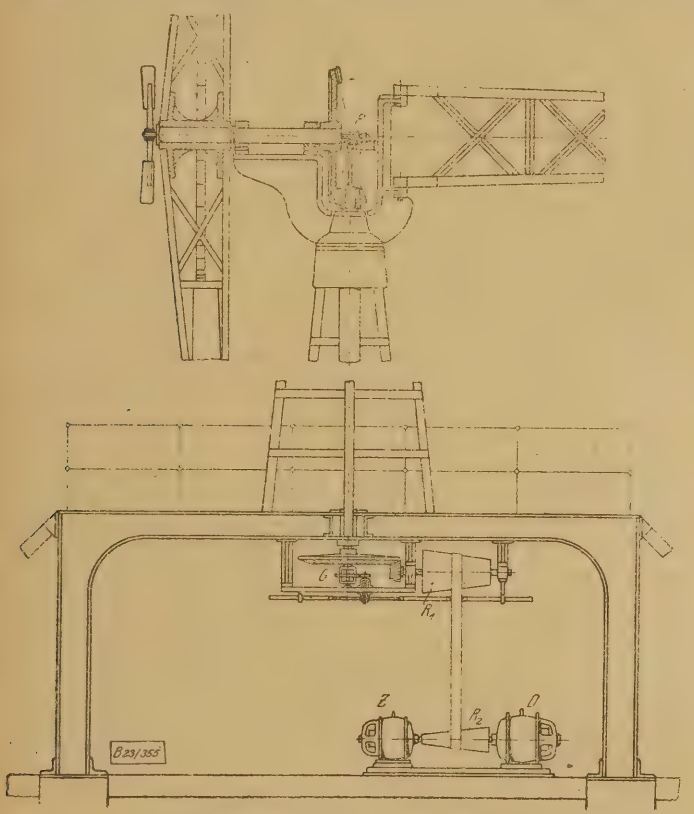


Abb. 3. Windkraftanlage mit Regelverfahren.

Vergegenwärtigt man sich die Unregelmäßigkeit der 24-Stunden-Stromverbrauchskurve eines kleinen Ortes und zieht man dabei den bisher primitiven Dynamobetrieb einer solchen durch Windkraft betriebenen Stromerzeugungsanlage in Betracht, so erkennt man, daß trotz selbsttätiger Ein- und Ausschaltung der Dynamo bei Windwechsel eine ständige Schalttafelbedienung unerläßlich war, sobald ein ununterbrochen ordnungsmäßiger Betrieb zur Bedingung gemacht wurde. Daß an den Kosten für eine solche Bedienung unter den heutigen Lohnverhältnissen jeder Plan von vornherein scheitern muß, bedarf keines Beweises.

Da durch die Anwendung von Dynamos mit Gegenerregung die Aufgabe der Regelung der Schaufelgeschwindigkeit auf elektrischem Wege nur unzulänglich gelöst werden konnte, so sei in den nachfolgenden Zeilen ein rein mechanisches Regelverfahren näher beschrieben.

Abb. 3 zeigt den Vorentwurf einer mit diesem Regelverfahren versehenen Anlage. Das Dachgeschoß des als Kraftwerkgebäude gedachten Baues ist für die Aufnahme der elektrischen Maschinen- und Schaltanlage bestimmt. Die Kraftübertragung vom Windrad auf den aus Hauptdynamo D und Zusatzdynamo Z bestehenden Maschinensatz geschieht über zwei Kegelräderpaare mit einem Übersetzungsverhältnis von je 1 : 5 und über die beiden kegeligen Riemenscheiben R_1 und R_2, von denen die letztere eine Freilaufnabe hat. Die Schaufelschrägstellung an der Flügelspitze beträgt 10°. Das vor dem großen Windrad zentral angeordnete kleine Winkelrad mit 45° Schaufelschrägstellung arbeitet durch die hohlen Wellen und über das kleine Kegelräderpaar P auf das untere Sonnenrad des Differentialgetriebes G, während das obere Sonnenrad an dem unteren Ende der hohlen Vertikalwelle festsitzt. Die beiden Windräder haben entgegengesetzten Drehsinn, folglich auch die beiden Sonnenräder des Differentialgetriebes. Die Planetenräderachsen sind außenseitig durch einen Zahnkranz miteinander verbunden; dieser verstellt durch einen Schneckentrieb die Riemengabel und damit das Übersetzungsverhältnis des Riementriebes. Für den Maschinensatz ist unveränderliche Umlaufzahl bei jeder Belastung Voraussetzung. Die ganze, vom kleinen Windrad angetriebene Regelvorrichtung ist, da sie praktisch leer läuft, sehr leicht gehalten. Sämtliche Lager sind Kugellager. Die Hauptdynamoleitung ist so bemessen, daß sie der größten Leistung des Windrades bei 8 m Windgeschwindigkeit genau entspricht. Bei größeren Windstärken wird das Rad selbsttätig aus der Windrichtung gedreht.

Um uns den Regelvorgang klarzumachen, nehmen wir zunächst einen bestimmten Betriebszustand an, beispielsweise 4 m Windgeschwindigkeit und die entsprechend günstigste Schaufelgeschwindigkeit; hierbei laufe der Riemen auf Scheibenmitte. Die augenblickliche Leistung N des Windkraftwerkes wird jetzt

$$N = \left(8\,\frac{\sqrt[3]{N_{\max}}}{4}\right)^3 \text{PS}$$

betragen.

Das kleine Windrad läuft, da es nur die geringe Leerlaufarbeit des Regelgetriebes zu überwinden hat, fast ohne Schlüpfung dem Winde nach — also mit fast der vollen Windgeschwindigkeit. Die Übersetzung bis zum Differentialgetriebe ist nun so gewählt, daß bei dieser Einstellung der beiden Windräder die resultierende Drehzahl des die Riemengabel verstellenden Zahnkranzes = 0, d. h. die Riemengabel in Ruhe ist. Von dem Geschwindigkeitsverhältnis der beiden Windräder also — und nicht etwa von der Windgeschwindigkeit — hängt die Ruhe der Riemengabel ab. Zu diesem soeben geschilderten Beharrungszustand muß noch erwähnt werden, daß die Gesamtleistung der beiden gegen eine unveränderliche Netzspannung arbeitenden Dynamos sich selbstverständlich dem Wert N entsprechend einstellen muß. Die elektrischen Vorgänge sollen später beschrieben werden.

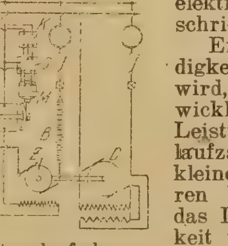


Abb. 4. Stromlaufschema.

Erhöht sich nun die Windgeschwindigkeit von 4 auf beispielsweise 6 m, so wird, da die Hauptdynamo eine Gemischtwicklung hat, zwar die elektrische Leistung ansteigen, nicht aber die Umlaufzahl des großen Windrades. Das kleine Windrad hingegen ist der größeren Windgeschwindigkeit sofort gefolgt, das Differentialgetriebe tritt in Wirksamkeit und verschiebt den Riemen so weit nach rechts, bis durch Verkleinerung des Übersetzungsverhältnisses das große Windrad nachgefolgt ist und sich wieder auf die günstigste Schaufelgeschwindigkeit eingestellt hat. In diesem Augenblick ist die Riemengabel zum Stillstand gekommen, und die Dynamoleistung hat sich auf den bei 6 m größtmöglichen Wert eingestellt. Bei Abflauen des Windes vollzieht sich der Regelvorgang im umgekehrten Sinn: das kleine Windrad fällt sofort ab, während das große durch Entlastung der Dynamos zunächst seine Umlaufzahl beibehält, bis das vergrößerte Übersetzungsverhältnis die Geschwindigkeitsverminderung herbeigeführt hat. Tritt vollständige Windstille ein, so kommt mit dem Windkraftwerk auch die Riemenscheibe R_2 vermöge der Freilaufnabe zum Stillstand, während der Maschinensatz — von der Batterie angetrieben — so lange als Motorgenerator weiterläuft, bis der aufkommende Wind die für den Antrieb notwendige Stärke wieder erreicht hat.

Für die folgende Beschreibung der elektrischen Regelung sei die Wirkungsweise der soeben beschriebenen mechanischen Regelvorrichtung nochmals kurz zusammengefaßt: Bei jeder Windgeschwindigkeit läuft das Windkraftwerk mit der sich selbsttätig einstellenden jeweils günstigsten Schaufelgeschwindigkeit, also dauernd mit dem erreichbar besten Wirkungsgrad; diese Kraft kommt mit veränderlichem Drehmoment und unveränderlicher Umlaufzahl an der konischen Riemenscheibe R_2 zur Wirkung.

Bei schon bestehenden Anlagen, die mit der neuen, die Schaufelgeschwindigkeit regelnden Einrichtung versehen werden sollen, würde der nachträgliche Einbau der hohlen Triebwellen zu große Kosten verursachen. Für solche Fälle tritt an die

[1]) Vergl. Z. 1921 S. 1083 u. f.

Stelle des mechanischen Regelgetriebes ein elektrisches, dessen Einzelheiten jedoch aus Prioritätsgründen erst später veröffentlicht werden können.

Schalttafelbedienung.

Das elektrische Regelverfahren.

Es ist bei uns in Deutschland nur wenig bekannt, daß in England und Amerika der Zellenschalter sich nie eingebürgert hat. Die von einem Antriebmotor oder von Ausgleichmaschinen angetriebene Zusatzdynamo ersetzt dort den Zellenschalter, indem sie nicht nur bei Ladung, sondern auch bei Entladung als Generator arbeitet. Das bei Zellenschalterbetrieb bestehende Verhältnis der Zellenzahl Z zur Netzspannung E ist hier ein anderes, und zwar ist

$$Z = \frac{1}{2} \frac{E}{(2{,}73 + 1{,}83)}$$

und die größte Zusatzmaschinenspannung

$$e = E - 1{,}83\,Z\,.$$

Die Spannung bzw. Leistung der Zusatzdynamo erniedrigt sich also bei gleicher Kapazität der Batterie auf ⅚ und die Zellenzahl auf ⅚ gegenüber dem Zellenschalterbetrieb. Man kann bei entsprechender Beschaffenheit des Feldreglers durch Umpolung der Zusatzdynamo von Ladung über Null auf Entladung übergehen und umgekehrt, ohne den Batteriekreis unterbrechen zu müssen. Mit dem Zellenschalter fallen auch die dazugehörigen vielen starken Zellenschalterleitungen fort; die ohnehin kleinere Batterie ist infolgedessen durchweg gleichmäßig beansprucht und in bezug auf das Bleigewicht viel besser ausgenutzt durch den Fortfall der Schaltzellen.

Es lag nun nichts näher, als die Zusatzdynamos mit der Hauptdynamo zusammenzubauen und beide Maschinen von einer und derselben Kraftmaschine antreiben zu lassen, wie es in Abb. 3 und 4 dargestellt ist. Abb. 4 zeigt das Stromlaufschema. D ist die Hauptdynamo mit gemischter Erregung, B die Batterie, Z die Zusatzdynamo mit Fremderregung, F der vom Kleinmotor M verstellbare Feldregler der Zusatzdynamo, K und S Kontaktvoltmeter und Relais. Die gemischte Wicklung ist so bemessen, daß die Dynamo ohne Zuhilfenahme eines Feldreglers bei konstanter Netzspannung als Stromerzeuger sowohl wie als Motor mit möglichst gleicher Umlaufzahl läuft, um für die Zusatzdynamo günstige Antriebverhältnisse zu schaffen; für den Windradantrieb wäre diese Maßnahme nicht unbedingt erforderlich. Die Bedingung ist sehr leicht zu erfüllen, da der durch die Kompoundwicklung fließende Strom bei Dynamobetrieb das Feld verstärkt und bei Motorbetrieb schwächt, wodurch in beiden Fällen Spannung und Umlaufzahl konstant bleiben.

Wie vorhin erwähnt, entspricht die Leistung der Hauptdynamo D genau der bei 8 m Windgeschwindigkeit zur Verfügung stehenden Antriebkraft. Die Leistung der Zusatzdynamo ist so bemessen, daß sie beim Betrieb des Satzes als Motorgenerator voll ausgenutzt ist; sie leistet also, je nach Größe des Satzes, etwa das 0,8fache der Hauptdynamo. Da ihre Spannung gleich ⅕ derjenigen der Hauptdynamo ist, so übersteigt ihre normale Stromstärke diejenige der Hauptdynamo um das 4fache; sie leistet also zusammen mit einer Batterie genügend großer Kapazität das 4fache der Hauptdynamo.

Es herrsche eine Windgeschwindigkeit von 8 m, und der Strombedarf im Netz entspreche gerade der normalen Hauptdynamoleistung, dann befindet sich der Feldregler F in Mittelstellung und in Ruhe, d. h. die Erregung der Zusatzdynamo ist so eingestellt, daß der Batteriekreis stromlos ist. Nimmt der Stromverbrauch im Netz zu, so steigt zunächst die Belastung der Hauptdynamo; die Umlaufzahl und Spannung fällt ab, die Kontakteinrichtung spricht an und verstellt den Feldregler so weit, bis die Batterie die hinzugekommene Mehrbelastung übernommen hat. In diesem Augenblick hat sich die normale Umlaufzahl und Spannung wieder eingestellt, jedoch wird jetzt die Summe der Leistungen beider Dynamos der bei 8 m Windgeschwindigkeit zur Verfügung stehenden Antriebkraft entsprechen. Diese Summe bleibt bei jeder weiteren Mehrbelastung konstant, nur geht die Teilbelastung immer mehr auf die Zusatzdynamo über, und der Grenzfall wird eintreten, sobald die Zusatzdynamo voll belastet und die Leistung der Hauptdynamo auf ⅕ abgesunken ist. Dieser Grenzfall stellt zugleich die bei 8 m Windgeschwindigkeit größtmögliche Spitzenleistung dar; sie beträgt, wie leicht nachzurechnen ist, das 4,2fache der normalen Hauptdynamoleistung. Bei dieser Einstellung ist die Zusatzdynamo — niedrigsten Säurestand der Batterie angenommen — voll erregt; ihre Spannung beträgt ⅕, die der Batterie ⅘ der Netzspannung.

Tritt jetzt eine Verringerung des Stromverbrauches ein, so geht die Regulierung in umgekehrtem Sinne vor sich, und es sei angenommen, daß, immer bei 8 m Windgeschwindigkeit, bei dem Dreifachen der Hauptdynamoleistung ein Beharrungszustand in der Netzbelastung eintrete. Setzt man die normale Hauptdynamoleistung = 1 ein, so hat jetzt die Batterie nach der graphischen Ermittlung das 2fache, die beiden Dynamos je das 0,5fache an das Netz abzugeben.

Bei diesem unveränderten Strombedarf trete jetzt eine durch allmähliches Abflauen des Windes herbeigeführte neue Betriebslage ein. Durch das Nachlassen des Drehmomentes sinkt, wie bei einer Belastungszunahme, die Umlaufzahl und Spannung; die Regelvorrichtung spricht an und verstärkt wieder das Feld der Zusatzdynamo, bis durch Entlastung der Hauptdynamo und Mehrbelastung des Batteriekreises sich die normale Umlaufzahl und Spannung wieder eingestellt hat. Die Gesamtleistung beider Dynamos ist jetzt kleiner geworden, obgleich die Summe beider Ströme gleich geblieben ist. Bei weiterem Nachlassen des Windes wird bei einem bestimmten Punkt die Hauptdynamo vollkommen entlastet nur unter Spannung stehen, weil die vorhandene Kraft nur noch für den Antrieb der Zusatzdynamo ausreicht, die jetzt mit der Batterie zusammen die Stromlieferung allein übernommen hat. Es ist interessant, wie bei gänzlichem Abflauen des Windes die Hauptdynamo nun als Motor den Antrieb der Zusatzdynamo immer mehr vom Windkraftwerk übernimmt, bis dieses völlig zum Stillstand gekommen ist. Batterie und Zusatzdynamo haben in diesem Fall auch den Motorstrom zu liefern. Die an das Netz abgegebene elektrische Energie ist jetzt $0{,}8 \cdot 5 - 1 =$ dem 3fachen der normalen Hauptdynamoleistung; diese Netzbelastung stellt zugleich die größtmögliche Spitzenbelastung bei Windstille dar. Der Satz läuft, die Netzspannung konstant haltend, leer, wenn die Antriebkraft und der Stromverbrauch = 0 geworden sind.

Es ist noch zu untersuchen, wie die Ladung der Batterie vor sich geht, und zu diesem Zweck sei nochmals 8 m Windgeschwindigkeit und die höchste Spitzenbelastung im Netz angenommen. Fällt der Stromverbrauch ab, so wiederholt sich der bereits beschriebene Regelvorgang: Der bei Vollerregung der Zusatzdynamo in der einen Endstellung stehende Hebel des Feldreglers F bewegt sich immer mehr nach der Mittelstellung, wodurch die Batterie und Zusatzdynamo entlastet und die Hauptdynamo belastet wird, bis diese die Stromlieferung wieder allein übernommen hat und die Zusatzdynamo leer läuft. Hierbei befindet sich der Hebel von F ungefähr in Mittelstellung. Nimmt der Stromverbrauch weiter ab, so wird, da die Spannung immer wieder anzusteigen bestrebt ist, der Hebel sich in derselben Richtung weiterbewegen, die Zusatzdynamo umpolen, die Stromrichtung im Batteriekreis umkehren und damit die Ladung der Batterie einleiten. Bei Stromlosigkeit im Netz wird die gesamte von der Hauptdynamo erzeugte elektrische Energie von der Zusatzdynamo und Batterie aufgenommen, wobei die Summe der beiden Dynamoleistungen konstant bleiben muß. Die Teilbelastungen bei voller Ladung — höchster Säurestand der Batterie vorausgesetzt — betragen $^5/_6$ für die Hauptdynamo und $^1/_6$ für die Zusatzdynamo. Bei geringerer Windstärke wird selbstverständlich auch die Ladeenergie kleiner werden.

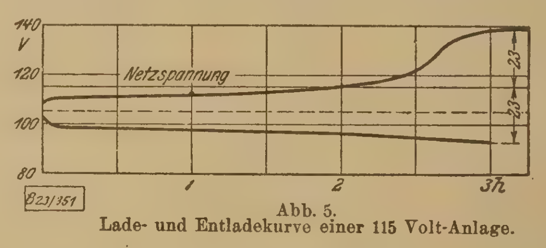


Abb. 5.
Lade- und Entladekurve einer 115 Volt-Anlage.

Damit sind alle Betriebsmöglichkeiten des elektrischen Regelverfahrens erwähnt worden.

Die Hauptschwierigkeit für die Lösung des Problems war durch die Unregelmäßigkeit und Unzuverlässigkeit der Windkraft einerseits und durch die Schwankungen des Stromverbrauches anderseits, also durch die fast ständige Unstimmigkeit dieser beiden Umstände und die dadurch erforderliche ununterbrochene Schalttafelbedienung gegeben. Durch das neue Regelverfahren sind diese Schwierigkeiten überwunden worden.

Erwähnungswert zu diesem Abschnitt sind noch einige allgemein technische Fragen. In Abb. 5 sind die Lade- und Entladekurven einer 115-Volt-Anlage aufgetragen. Wir sehen, daß beispielsweise bei vollaufgeladener Batterie die Zusatzdynamo bei Stromlosigkeit im Batteriekreis mit 10 V laufen muß, daß der Zeitpunkt der Umpolung der Zusatzdynamo abhängig ist vom Ladezustand der Batterie und daß unter gewissen Umständen die Zusatzdynamo, allerdings mit sehr geringer Ankerspannung, als Motor laufen wird. Man könnte die Zellenzahl von 51 auf 56 erhöhen und damit die gestrichelte Mittellinie in die Netzspannung legen; man hätte dadurch aber nur eine Vergrößerung der Batterie um 10 vH und der Zusatzdynamo um 65 vH, jedoch keinerlei Vorteile erreicht.

Die Anwendung von Kugellagern ist bei den elektrischen Maschinen bis zu einer Leistung von 10 kW unbedingt geboten, wie die Wirkungsgradkurven für Dynamos mit Schalen- und Kugellagern in Abb. 6 zeigen. Da der Satz — mit Ausnahme der Windstille und der hierbei möglichen höchsten Spitzenleistung — nie voll belastet läuft, die vom Windkraftwerk bei 8 m Windgeschwindigkeit abgegebene Arbeit immer von beiden Dynamos aufgenommen wird, so wird man im ersten Augenblick in bezug auf den Wirkungsgrad einem solchen Betrieb mit einigem Mißtrauen gegenüberstehen. Hierzu liegt aber, wie gezeigt werden soll, kein Grund vor. Wir wählen für unsere

Betrachtung eine mittelgroße Anlage, eine 8 kW-Hauptdynamo und — um den Vergleich der Verluste der beiden Dynamos miteinander besser zu veranschaulichen — eine Zusatzdynamo von gleicher Leistung, beide Dynamos auf Kugellagern laufend. Nach der Kurve in Abb. 6 beträgt für diese Dynamogröße der Wirkungsgrad bei voller Belastung 88,5 vH, die aufgenommene Arbeit also 9,04 kW. Davon entfallen bei der Hauptdynamo auf Ankerverluste 0,43, Erregung 0,44, Eisenverlust 0,10, Lager-, Luft- und Bürstenreibung 0,07 kW. In Abb. 7 ist *a* die Wirkungsgradkurve der Hauptdynamo. Die Zusatzdynamo arbeitet unter wesentlich andern Bedingungen. Während bei der ersteren mit abnehmender Belastung sich nur die Ankerverluste verringern und die übrigen fast unverändert bleiben, nehmen bei der letzteren mit Ausnahme der Reibungsverluste alle übrigen Verluste mit abnehmender Belastung ab, weil mit der Stromstärke auch die Spannung sinkt. Die Wirkungsgradkurve *b* der Zusatzdynamo zeigt, daß bei allen unter der normalen liegenden

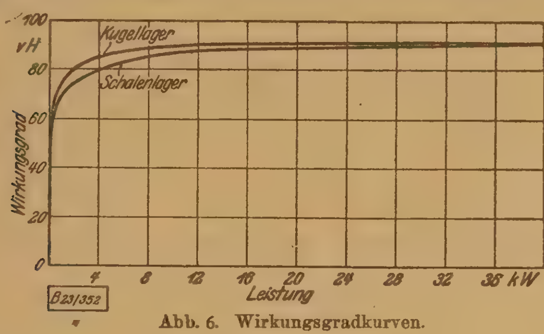


Abb. 6. Wirkungsgradkurven.

Belastungen der Wirkungsgrad höher ist als bei der Hauptdynamo; bei 1 kW beispielsweise ist der Unterschied 18 vH. Die Kurve *c* zeigt den resultierenden Wirkungsgrad bei 8 kW Gesamtbelastung und verschiedener Verteilung der Teilbelastungen auf die beiden Dynamos. Wir sehen, daß die Kurve *c* nur bei starker Entlastung der Hauptdynamo, also bei hohen Spitzenbelastungen, im Netz etwas steiler — im Grenzfall bis auf 83 vH — abfällt.

Von fachmännischer Seite wurde es gegenüber dem bisherigen Zellenschalterbetrieb als ein Übelstand des Zweimaschinensystems bezeichnet, daß der Motorgeneratorbetrieb bei Windstille mit verhältnismäßig großen Verlusten verknüpft ist. Dies ist jedoch ein Trugschluß, denn es darf nicht vergessen werden, daß bei dem alten Batteriebetrieb bei der Ladung ungefähr das 2½fache an zusätzlicher Arbeit aufgewendet werden mußte, während nach dem neuen Verfahren diese zusätzliche Arbeit für die Ladung und Entladung in zwei Teile zerlegt wird. Der Antrieb der Zusatzdynamo durch den Windmotor oder eine andre Kraftmaschine ist also auch bei E n t l a d u n g mit jedem andern Dynamobetrieb vergleichbar und nicht mit besonderen Verlusten verknüpft. Schwindet die Antriebkraft, so setzt die Batterie über den Motor als Ersatzkraftquelle ein, und es können in diesem Fall selbstverständlich nur d i e i m M o t o r auftretenden Verluste als wirkliche Mehrverluste angesprochen werden.

Von einigen sehr erfahrenen Elektrotechnikern wurde die Befürchtung ausgesprochen, daß beim Übergang zum Motorgeneratorbetrieb durch die namentlich bei kleinen Motoren notwendige starke Schwächung des Feldes Pendelungen und die Gefahr des Durchgehens eintreten könnten. Um diese Frage näher zu prüfen, wurden an einem normalen 2 PS-Motor für 220 V und 1360 Uml./min bei Generator- und Motorbetrieb verschiedene Versuchsreihen aufgenommen, wobei sich ergab, daß die Umlaufzahl von 1360 auf 1880 hochgetrieben werden mußte, um bei Generatorbetrieb noch 220 V bei voller Belastung halten zu können. In Abb. 8 ist die Erregerstromstärke über den Ankerstromstärken dieses Motors bei Generator- und Motorbetrieb und konstant 220 V und 1880 Uml./min aufgetragen. Wir sehen in dem Kurvenverlauf deutlich den Einfluß der Ankerrückwirkung und die für die Bemessung der Kompoundwicklung maßgebende Differenz der beiden Grenzwerte von i, die um so größer sein wird, je kleiner die Dynamoleistung ist.

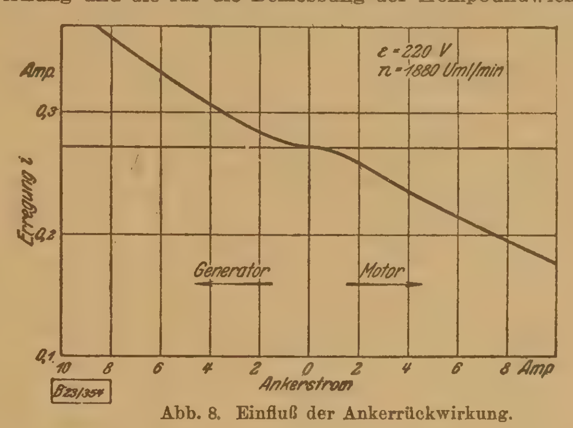


Abb. 8. Einfluß der Ankerrückwirkung.

Es konnten jedoch, besonders auf die ausgesprochenen Befürchtungen hin, auch an einer für Süddeutschland bestimmten, nach diesem Regelverfahren arbeitenden Anlage von 3½ PS alsbald Versuche vorgenommen werden. Der von den Bergmanns Elektrizitätswerken gebaute elektrische Teil der Anlage besteht aus einer Hauptdynamo von 2 und einer Zusatzdynamo von 1,2 kW. Netzspannung 115 V. Der Satz hat Kugellager und wurde bei den Versuchen bei 4 kW Netzbelastung von einem 3½ PS-Elektromotor angetrieben. Bei dieser Belastung wurde der Riemen — ein bei Windantrieb jedenfalls nie vorkommender schroffer Übergang — plötzlich abgeworfen, ohne daß das befürchtete Pendeln oder Durchgehen eintrat. Die durch den plötzlichen Übergang abgesunkene Spannung stellte sich bei unveränderter Umlaufzahl in wenigen Sekunden durch das in Abb. 9 gezeigte Kontaktvoltmeter wieder auf den normalen Wert ein. Dieses außerordentlich empfindliche Instrument arbeitet mit Quecksilberkontakten; bei 1 vH Spannungsänderung beträgt die Bewegung der Kontakte rd. 2 mm.

An derselben Anlage wurde ferner festgestellt, daß der Feldregler F in der Nähe beiderseits der Mittelstellung trotz großer Stufenzahl nicht zur Ruhe kam. Es wurde ein neuer Regler, Abb. 10, ohne Kontaktstufen gebaut, bei dem die beiden Kontaktschlitten unmittelbar auf den Widerstandswindungen schleifen. Wie das daneben stehende Schaltbild zeigt, findet in der Mittelstellung der beiden von Gewindespindeln in entgegengesetzter Richtung bewegten Kontakte die Umpolung statt. Mit diesem Feldregler geht der Regelvorgang anstandslos vonstatten. Die Anlage arbeitet, gleichviel, ob die 3½ PS Antriebkraft eingreifen oder

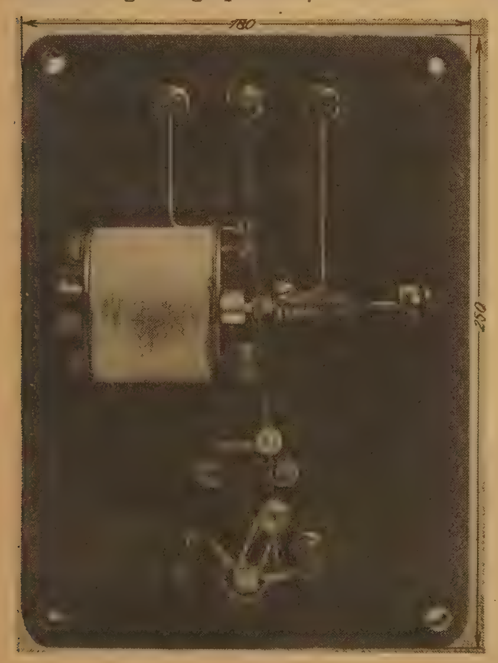


Abb. 9. Kontakt-Voltmeter.

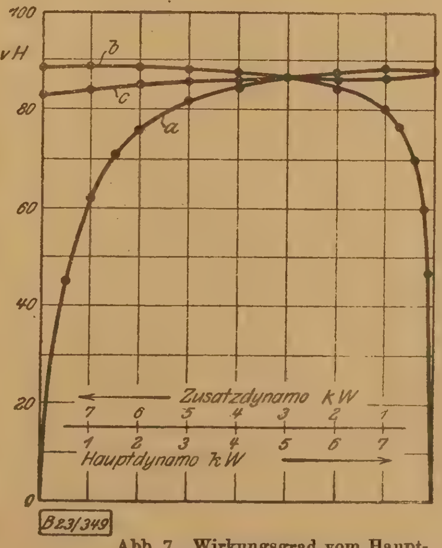


Abb. 7. Wirkungsgrad vom Haupt- und Zusatzdynamo.

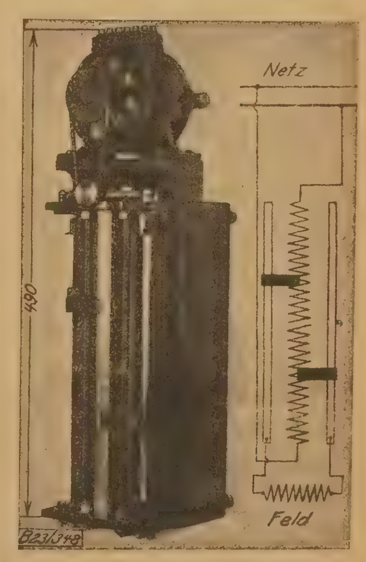


Abb. 10. Regler ohne Kontaktstufen.

nicht, bei jeder Netzbelastung bis zu 6 kW ohne jede Bedienung mit konstanter Spannung und sehr genau und zuverlässig. Eine einfache Kontakteinrichtung zeigt den zulässig tiefsten und höchsten Säurestand durch ein Klingelzeichen an und gibt so das Zeichen zum Einsetzen der Reservemaschine oder zum Abstellen des Windrades.

Die für den Anlauf eines Windkraftwerkes erheblich ins Gewicht fallende Reibung der Ruhe entfiel bisher zum großen Teil auf das am schnellsten laufende Glied der Anlage — auf die Dynamo. Dieser Teil fällt hier fort, weil der Satz auch bei Windstille in Betrieb bleibt; der Anlauf ist also leichter.

Dieses soeben beschriebene selbsttätige Regelverfahren läßt sich mit gleichem Vorteil auch bei der Ausnutzung kleiner Wasserkräfte anwenden[1]), ferner bei allen andern Anlagen mit stark und plötzlich schwankender Beanspruchung; man denke dabei an die Möglichkeit der Anwendung des Sauggasmotors mit seiner geringen Überlastbarkeit und schließlich an den Bahnbetrieb. Versieht man die Ankerwicklung der Hauptdynamo mit 3 oder 6 Schleifringen, so kann auch Drehstrom für entfernt liegende Verbrauchstellen unter Verwendung eines Transformators mit gleich gutem Wirkungsgrad abgenommen werden, der nur bei Windstille um einige Prozent absinkt. Denken wir uns ferner die Welle des Maschinensatzes nach der einen oder andern Seite hin für den Antrieb irgendeiner industriellen Kleinanlage verlängert, so ergibt sich die wertvolle Möglichkeit, die mechanische Arbeit des Windkraftwerkes direkt zu verwenden, wobei die Leistungsschwankungen des letzteren durch die in den Pausen und nachts aufgespeicherte Energie elektromotorisch ausgeglichen werden. Trotzdem kann dabei bis zu einer gewissen Menge Strom für Licht und Kraft dem Netz entnommen werden.

Aus der Literatur und den Prospekten der Firmen geht hervor, daß Windräder bis zu 20 m Durchmesser gebaut werden mit einer Leistung von 62 PS bei 8 m Windgeschwindigkeit. Ein durch ein derartiges Windkraftwerk betriebenes Elektrizitätswerk würde leisten: höchste Spitzenleistung bei 8 m Windgeschwindigkeit = 180 kW, höchste Spitzenleistung bei Windstille = 140 kW. Die Jahresleistung je nach der geographischen Lage des Ortes würde rd. 70 000 kWh betragen. Es ist selbstverständlich, daß in einer solchen Anlage eine Reservekraftquelle vorhanden sein müßte. Die große Spitzenleistungsfähigkeit des Windkraftwerkes würde ermöglichen, daß die Reservekraftquelle, unabhängig von dem augenblicklichen Strombedarf im Ortsnetz und der Windstärke, mit ihrer vollen Leistung eingesetzt werden kann, weil der andre Maschinensatz die Verteilung der gesamten erzeugten Energie auf das Netz und die Batterie selbsttätig regelt[2]). [A 2028]

[1]) Vergl. „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen" 1922 Heft 15.

[2]) Das beschriebene Regelverfahren ist patentamtlich geschützt.

Biegung, Schub und Drehung von Balken.

Dipl.-Ing. Constantin Heinrich Weber hat am 1. Juli 1922 bei der Technischen Hochschule Braunschweig eine Doktordissertation über Biegung, Schub und Drehung von Balken eingereicht, die in der Bibliothek der genannten Hochschule einzusehen ist.

Die Arbeit behandelt im ersten Abschnitt den gebogenen Balken mit Ausnahme der Balkenteile in der Nähe der Angriffquerschnitte äußerer Lasten, wobei sich für reine Biegung (unveränderliches biegendes Moment) die Biegungsspannungen und Formänderungen nach den bekannten Formeln ergeben. Bei Biegung durch eine Querkraft entstehen außer den Biegungsspannungen noch Schubspannungen mit gleicher Verteilung in allen Querschnitten. Die Untersuchung der Schubspannungen ist dadurch besonders anschaulich und für Näherungslösungen zugänglich gemacht, daß die Schubspannungen in Hauptschubspannungen und Zusatzschubspannungen zerlegt sind. Jene erhält man bei Vernachlässigung der Querzusammenziehung senkrecht zu den Längsfasern. Sie übertragen die Querkraft und bestimmen deren Lage, falls keine Drehung im Balken auftritt. Der Schnittpunkt zweier beliebig gerichteter Querkräfte ergibt den Querkraftmittelpunkt des Querschnittes. Durch diesen Punkt muß jede Querkraft gehen, falls keine Drehung im Balken erfolgt. Infolge der Querzusammenziehung senkrecht zu den Längsfasern erhält man eine verschieden starke Verzerrung der Querschnitte. Ein zur Nullinie senkrechter Längsschnitt bleibt eben, die übrigen verwinden sich zum Teil zu Links- und zum Teil zu Rechtsschraubenflächen. Hierbei entstehen die Zusatzschubspannungen. Der eben bleibende Längsschnitt ist so zu wählen, daß durch die Zusatzschubspannungen kein drehendes Moment übertragen wird.

Für die Haupt- und Zusatzschubspannungen sind die Differentialgleichungen, die allgemeinen Lösungen und für einige geometrisch einfache Querschnitte die Sonderlösungen gebracht. Für die Walzeisenquerschnitte werden Näherungslösungen gefunden und die Lage des Querkraftmittelpunktes bestimmt. Bei zwei- und mehrfach symmetrischen Querschnitten fällt dieser mit dem Schwerpunkte, bei Winkel- und T-Querschnitten angenähert mit dem Schnittpunkte der Streifenmittellinien zusammen; bei den U-Querschnitten liegt er auf der Stegseite außerhalb des Querschnittes.

Der Balken in der Nähe der Angriffquerschnitte äußerer Kräfte wird im zweiten Abschnitt untersucht. Für den Streifenbalken mit schmalem, rechteckigem Querschnitt wird für die Belastung durch eine äußere Querkraft die Lösung gebracht und zeichnerisch ausführlich dargestellt. Hieraus sind die Scherspannungen bei sprungweiser Randbelastung abgeleitet. Infolge der Schubspannungen tritt eine weitere Durchbiegung, der Durchschub des Balkens, auf. Bei Belastung durch eine Querkraft erhält man im Angriffquerschnitt einen abgerundeten Knick der Längsfasern um den Schubwinkel des Balkens. Für diesen werden Berechnungswege mit Hilfe der Ausgleichebene des durch die Hauptschubspannungen verwölbten Querschnittes und der Arbeitsgleichung der Schubspannungen angegeben und für einige Querschnitte zum Teil bisher noch nicht bekannte Lösungen gebracht.

Im dritten Abschnitte wird die reine Drehung nur gestreift, da hierfür Lösungen bekannt sind. Die hierbei auftretende Querschnittverwölbung, besonders der Walzeisenquerschnitte, wird jedoch behandelt. Bei veränderlichem Drehmomente bleibt eine Längsfaser des Balkens, die durch den Drehpunkt des Qurschnittes geht, gerade. Dieser Punkt fällt mit dem im Abschnitt 1 bestimmten Querkraftmittelpunkt zusammen. Bei doppelflanschigen Querschnitten tritt sowohl eine Übertragung des Drehmomentes durch reine Drehung als auch durch Flanschquerkräfte auf. Für den einfachsten Fall, den I-Querschnitt, brachte S. Timoschenko in der Z. f. Math. u. Physik 1910 die Lösung, während die allgemeine Lösung bisher nicht bekannt war. Man erhält eine zusätzliche Biegung der Flansche des doppelflanschigen Querschnittes. Als Beispiele werden zwei Biegungsversuche von U-Trägern von C. von Bach, s. Z. Bd. 53 (1909) S. 1790 und Bd. 54 (1910) S. 382, durchgerechnet. Diese Versuche gaben bei Belastung in der Stegmittellinie und in der Schwerpunktebene starke Abweichungen von den nach der üblichen Weise berechneten Durchbiegungen und Spannungen, stimmen hingegen mit den Ergebnissen dieser Arbeit gut überein, so daß die scheinbare Minderwertigkeit der U-Träger ihre Aufklärung gefunden hat.

Auf Grund dieser Arbeit wird es möglich sein, Balken mit unsymmetrischen Querschnitten so zu belasten, daß keine Drehung auftritt, d. h. daß die Querkräfte durch den Querkraftmittelpunkt gehen. Gehen die äußeren Kräfte nicht durch diesen Punkt, so sind die Drehungsspannungen und bei Balken mit doppelflanschigem Querschnitt die Biegungsspannungen in den Flanschen zu berücksichtigen. [M 2124]

Friedrich Bendemann †.

Die deutsche Luftfahrt hat durch das plötzliche Hinscheiden des Geh. Reg.-Rates Prof. Dr.-Ing. F. Bendemann, Ministerialrat im Reichsverkehrsministerium, Abteilung für Luft- und Kraftfahrwesen, einen großen Verlust erlitten.

Schon vor der Gründung der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Adlershof hat er sich durch seine grundlegenden Arbeiten über Luftschrauben in den Jahren 1910/12 bei der Geschäftstelle für Flugtechnik der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie in Lindenberg ein unvergeßliches Denkmal gesetzt[1]). Während alle Länder noch bis in die letzte Zeit hinein von Hubschrauben-Flugzeugen Unmögliches erhofften, konnte Deutschland durch die folgerichtigen Arbeiten Bendemanns von solchen phantastischen Unternehmen verschont bleiben. Erst neuerdings finden diese Arbeiten auch im Ausland ihre Bestätigung.

Als Begründer und Leiter der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (Juni 1912 bis Dezember 1920) hat Bendemann vor und während des Krieges die Grundlagen geschaffen, welche später der Flugzeugindustrie ermöglichte, technisch zuverlässige Flugzeuge zu bauen. Besonders hervorzuheben ist, daß der erste Kaiserpreis-Wettbewerb für den besten deutschen Flugzeugmotor[2]) dort von Oktober 1912 bis Januar 1913 unter seiner Leitung stattgefunden hat.

Von Kriegsbeginn bis Frühjahr 1916 stand Bendemann als Chef einer Feldartillerie-Batterie im Feld und wurde schon September 1914 Ritter des Eisernen Kreuzes I. Klasse. Zu technischen Arbeiten in die Heimat zurückberufen, hat Bendemann zunächst vorübergehend in der Flugzeugmeisterei gearbeitet und dann in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt technische Aufgaben durchgeführt, welche die Militärbehörden nicht erledigen konnten. Es wurden unter seiner Leitung eine Reihe wertvoller Luftfahrt-Meßgeräte (Luftschrauben-Meßnabe, Motorenprüfstände und dergl.) geschaffen, sowie die Normungsarbeiten für die Flugzeugindustrie in die Wege geleitet und weitgehend vorangebracht.

Auch während seiner Tätigkeit im Reichsverkehrsministerium hat Bendemann, soviel er konnte, die wissenschaftliche Luftfahrt unterstützt und gefördert.

Bendemann hätte am 19. Januar d. J. das 50. Lebensjahr erreicht.
[M 11] Prof. Dr.-Ing. W. Hoff.

[1]) Z. Bd. 56 (1912) S. 768, Bd. 57 (1913) S. 916.
[2]) Z. Bd. 56 (1912) S. 1815, Bd. 57 (1913) S. 481.

Der Zeitakkord, sein Wesen, seine Auswirkung auf die Tarifverträge und seine Anwendung.

Von Baurat F. Haier, Betriebsdirektor der Firma R. Wolf A.-G., Magdeburg-Buckau.

(Schluß von S. 21).

Der Geschicklichkeit der Betriebsleitung und der Vorkalkulation liegt es ob, die Richtigstellungen, die auf Grund solcher Untersuchungen notwendig werden, so durchzuführen, daß der Anreiz zur Leistungssteigerung voll aufrechterhalten wird und trotzdem die Abweichung der sich tatsächlich ergebenden Verhältniszahlen zwischen Vorgabe- und Gebrauchzeit von den vorgesehenen innerhalb zulässiger Grenzen gehalten wird. Danach, in welchem Umfang diesen Bedingungen entsprochen wird, ist die Güte der Arbeit der Vorkalkulation eines Werkes zu beurteilen.

Diese Erörterungen zeigen aber auch, daß, wenn, wie eingangs gesagt, beim Zeitakkord weitgehende Bindungen für seine beiden Faktoren vorliegen, er anderseits bei richtiger Durchführung eine außerordentlich weitgehende Anpaßfähigkeit besitzt. Diese läßt sich einesteils durch Änderung des Geldfaktors (der Akkordgrundlage) erreichen dadurch, daß die zur Errechnung der Akkordgrundlage dienende Verhältniszahl zwischen Vorgabe- und Gebrauchzeit an die wirklich sich einstellende unter maßvoller Berücksichtigung der Aufrechterhaltung des Anreizes angepaßt wird, ohne daß also die Vorgabezeiten selbst eine Änderung erfahren. Anderseits ist die Anpassung natürlich auch jederzeit durch Änderung der Vorgabezeiten für die einzelnen Arbeitstücke herbeizuführen. Der erste Weg wird die Ausnahme zu bilden haben und sich zur Hauptsache dann empfehlen, wenn es sich darum handelt, kleine Änderungen auf der ganzen Linie auszugleichen, während das zweite Vorgehen in Frage kommt, wenn die Zeitvorgabe für einzelne Arbeitstücke in größerem Umfang richtiggestellt werden muß. Da diese Anpassungen nach dem Vorstehenden an Hand eines dauernd verfolgten Zahlenmaterials erfolgen, lassen sie sich auch in einwandfreier Weise durchführen, und man wird stets in der Lage sein, auf sachlicher Grundlage eine beiden Parteien Rechnung tragende gerechte Regelung zu finden.

Auf Grund aller dieser Erörterungen ist für die Anwendung des Zeitakkordes zusammenfassend folgendes zu sagen:

1. Beim Zeitakkord ist für eine bestimmte Arbeitsleistung sowohl die hierfür in Ansatz zu bringende Zeit, die Vorgabezeit, als auch der Geldwert für die Zeiteinheit, die Akkordgrundlage, gesondert festzulegen.
2. Bei der Bemessung der Zeitvorgabe können entweder nur reine Arbeitszeiten nach der Leistung eines Akkordarbeiters durchschnittlicher Leistungsfähigkeit bei normalem Fleiß, also ohne Einrechnung irgendwelcher außerhalb der eigentlichen Arbeitsdurchführung liegenden Verlustzeiten in Ansatz kommen, oder es können Verlustzeiten von bestimmter Höhe eingerechnet werden. Je nach diesem Vorgehen, d. h. je nach der Höhe der eingerechneten Verlustzeit wird sich die Akkordgrundlage höher oder niedriger ergeben.
3. Infolge der gemäß 2 vorhandenen Abhängigkeit der Akkordgrundlage von der Art der Zeitbemessung werden bei der Festlegung von Werten für die Akkordgrundlage in den Tarifverträgen diese Werte auch nur für ganz bestimmte Zeitbemessung Geltung haben, d. h. für die Einrechnung von ganz bestimmten Anteilen an Verlustzeit in die Vorgabezeit.

Stückzettel für 10 Stück
Gehäuse zum Achsenregulator

Auftrag 100070	Werkstatt	Bearb.-Nr.	Stückzahl	Art der Bearbeitung	Vorrichtung oder Werkzeug-Nr.	Zeitvorgabe für das Stück Min.	Zeitvorgabe für Einrichtung Min.	Zeitvorgabe insgesamt Min.	Zuschlag*) für Verteuerung	Anfangs-Datum	Arbeiter-Marken-Nr.	Gebrauchte Zeit in Min.	Verrechnete Zeit in Min.	VA Art	VA Stück	Fertig-Datum
Zeichng.-Lager-Nr.: H. 27382 E. 16266 Teil-Nr.: 1	BDM	1	10	drehen		282	36	2856		23/4	1211	2580	2856			4/5.
Masch. Art: T K 5 Kl. Nr.: 66-75	BDM	2		Flächen & Warzen fräsen		135*	27	1377		14/5.	1265	1190	1377			18/5.
Werkstoff Art: Gu. Menge	BDM	3		kpl. bohren n/4,	2520	120	40	1260		1/6	1257	1080	1260			4/6.
	BDM	4		Nuten stoßen		39,6	–	39,6		5/6.	1292	340	396			5/6.
Modell-Nr.: 58261	BDM	5		Schlitze & Nabenflächen fräsen		82,8	27	855		6/6.	1280	740	855			9/6.
Laufende VA-Nr.:																
Blatt-Nr.: 1 Zettel-Nr.: 1																
Termin:																
Abzuliefern an: B.T.L.																
*) Grund des Zuschlages umseitig vermerken!	Aufgegebe am 15.4.23 von Schf.															

R. Wolf A.-G. Fo. 553c. E. 1416. 9. 23. 25000. C 5.

Abb. 1. Vorderseite eines Stückzettels (TWL 6303).

Arbeitszettel über 10 Stück
Gehäuse zum Achsenregulator
Werkstoff: Gu.

Auftrag-Nr. 110070
Lager-Nr.:
Art der Masch.: T K 5
Kl. Nr. 66-75 Gr. Nr.
Zeichn.-Nr. H27382 E16266 Teil Nr. 1
Modell-Nr. 58261

Stück	Art der Bearbeitung Nr. 1	Werkstatt	Maschin.-Nr. Vorricht. Nr.	Liste Blatt 1	Zettel Nr. 1
10	drehen	BDM		Aufgegeben am 15.4.23 durch Schf. Abtlg.: B.A.	Liefertermin: 10.6.23.

Vorgegebene Zeit	Min.	Löhn Dat.	Gebrauchte Zeit Arbeit. Nr.	Gebrauchte Zeit Min.	Verrechnete Zeit Min.	Ausschuß Arbeits-Fehler	Ausschuß Werkst.-Fehler	Ausschuß Dat.	Ausschuß VA-Melde Nr.	Ausschuß Grund
für ein Stück	282	16/5.	1211	2580	2856					
für sämtl. Teile	2820									
Einrichten	36									
* Zuschlag										
Sa.	2856			2580	2856	Durchschnittspreis für die Minute: 2247		Meister Rabe		
+		–		angefangen am 23.4.23.	fertig am 4.5.23.	*Grund des Zuschl.:				

Teile kommen von: BLG gehen nach BDM

Ablieferung Stück	an Abtlg	am	Kontr	Empf
10	B.D.M.	4.5.	Rog.	

Abb. 2. Vorderseite eines Arbeitszettels für Einzelakkord (TWL 6304).

Abrechnung über Teilzahlungen.

Löhn. Dat.	Des Arbeiters Nr.	Des Arbeiters Name	Vorgegebene Zeit Min.	Gebrauchte Zeit in Stdn.	Gebrauchte Zeit Min.	Gebrauchte Zeit in Min.	Abschlags-Leistungs-Faktor	Verrechnete Zeit Min.	Abschlag oder Rest	Unterschrift des Meisters
2/5.	1211	Küverling	2856	5	30	330	69	380	A	Rabe
9/5.	1211	"	2476	20	–	1200	69	1380	A	Rabe
16/5.	1211	"	1096	17	30	1050	–	1096	R	Rabe
				43	–	2580		2856		

Abb. 3. Rückseite eines Arbeitszettels für Einzelakkord (TWL 6305).

Bei der Festlegung von Richtwerten für die Durchschnittsverdienste der verschiedenen Berufsgruppen von Akkordarbeitern in den Tarifverträgen muß Voraussetzung sein, daß diese Werte nur Gültigkeit haben für einen Arbeiter von durchschnittlicher Leistungsfähigkeit bei normalem Fleiß unter Einrechnung des geringst zulässigen Maßes an Verlustzeit für menschliche Bedürfnisse, das im allgemeinen mit höchstens 5 vH der reinen Arbeitszeit anzunehmen sein wird.

In beiden Fällen, also sowohl bei der Festlegung von Werten für die Akkordgrundlage, als auch bei solchen für die Durchschnittsverdienste muß die Möglichkeit bestehen, falls die Bemessung der Zeitvorgabe unter Einrechnung anderer Anteile an Verlustzeit erfolgt, oder die tatsächliche Verlustzeit sich in anderer Höhe ergibt, als den Festlegungen im Tarifvertrag entspricht, die Akkordgrundlage diesen Verhältnissen entsprechend umzurechnen.

4. Unter diesen Voraussetzungen ist es an sich gleichgültig, ob in den Tarifverträgen Werte für die Akkordgrundlagen, oder für die Durchschnittsverdienste der einzelnen Berufsgruppen festgelegt werden. Das letztere hat jedoch den Vorzug, daß sich die Festlegung auf diejenigen Werte erstreckt, deren tatsächlich sich einstellende Höhe für den Vergleich zwischen den einzelnen an einem Tarifvertrag beteiligten Werken in erster Linie in Frage kommt.
5. Die Wahl des in die Vorgabezeit einzurechnenden Anteiles an Verlustzeit ist von verschiedenen Umständen abhängig. Weniger Schwierigkeiten wird man bei der Wahl nicht allzu geringer Verlustzeiten haben, und man wird deshalb scharfe Zeiten zweckmäßig nur dort herausgeben, wo deren Erfassung mit ausreichender Sicher-

heit ohne allzu großen Aufwand möglich ist. Im übrigen wird sich, je nach dem Grad, in welchem letzteres zutrifft, die Spanne zwischen Vorgabezeit und Gebrauchzeit von selbst kleiner oder größer ergeben. Sie wird voraussichtlich am geringsten sein bei Massen- und weitgehend durchgeführter Serienfertigung, bei der die Zeiten sich leicht verhältnismäßig genau erfassen lassen, während beispielsweise bei Einzelfertigung, insbesondere, wenn vorwiegend Handarbeit vorliegt, sich schon deshalb eine größere Spanne herausbilden wird, weil die Fehlerquellen bei der Erfassung der Zeiten hierbei im allgemeinen größer sein werden. Die richtig durchgeführte Statistik über den Verlauf des Verhältnisses zwischen Vorgabezeit und Gebrauchzeit ist deshalb beim Zeitakkord gewissermaßen eine Zeitstudie im großen, durch die sich der wirkliche in dem Betrieb vorhandene Wert dieser Verhältniszahl laufend ergibt.

R.WOLF Aktiengesellschaft Magdeburg-Buckau — 69 — 0 ÷ 14⁵⁹ Std. 0 ÷ 899 Min.

0 Std. Gebr. Zeit Min.	0 Std. Verr. Zeit Min.	1 Std. Gebr. Zeit Min.	1 Std. Verr. Zeit Min.	2 Std. Gebr. Zeit Min.	2 Std. Verr. Zeit Min.	3 Std. Gebr. Zeit Min.	3 Std. Verr. Zeit Min.	4 Std. Gebr. Zeit Min.	4 Std. Verr. Zeit Min.	5 Std. Gebr. Zeit Min.	5 Std. Verr. Zeit Min.	6 Std. Gebr. Zeit Min.	6 Std. Verr. Zeit Min.	7 Std. Gebr. Zeit Min.	7 Std. Verr. Zeit Min.	8 Std. Gebr. Zeit Min.	8 Std. Verr. Zeit Min.	9 Std. Gebr. Zeit Min.	9 Std. Verr. Zeit Min.	10 Std. Gebr. Zeit Min.	10 Std. Verr. Zeit Min.	11 Std. Gebr. Zeit Min.	11 Std. Verr. Zeit Min.	12 Std. Gebr. Zeit Min.	12 Std. Verr. Zeit Min.	13 Std. Gebr. Zeit Min.	13 Std. Verr. Zeit Min.	14 Std. Gebr. Zeit Min.	14 Std. Verr. Zeit Min.
0	0	60	59	120	138	180	207	240	276	300	345	360	414	420	483	480	552	540	621	600	690	660	759	720	828	780	897	840	966
1	1	1	70	1	139	1	208	1	277	1	346	1	415	1	484	1	553	1	622	1	691	1	760	1	829	1	898	1	967
2	2	2	71	2	140	2	209	2	278	2	347	2	416	2	485	2	554	2	623	2	692	2	761	2	830	2	899	2	968
3	3	3	72	3	141	3	210	3	279	3	348	3	417	3	486	3	555	3	624	3	693	3	762	3	831	3	900	3	969
4	4	4	72	4	[illegible]	4	212	4	280	4	350	4	418	[illegible]	487	4	557	4	[illegible]	4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	4	[illegible]
17	20	7	89	7	158	7	227	7	296	7	365	7	434	7	503	7	572	7	641	7	710	7	[illegible]	7	[illegible]	7	917	7	986
18	21	8	90	8	159	8	228	8	297	8	366	8	435	8	504	8	573	8	642	8	711	8	780	8	849	8	918	8	987
19	22	9	91	9	160	9	229	9	298	9	367	9	436	9	505	9	574	9	643	9	712	9	781	9	850	9	919	9	988
20	23	80	92	140	161	200	230	260	299	320	368	380	437	440	506	500	575	560	644	620	713	680	782	740	851	800	920	860	989
21	24	1	93	1	162	1	231	1	300	1	369	1	438	1	507	1	576	1	645	1	714	1	783	1	852	1	921	1	990
22	25	2	94	2	163	2	232	2	301	2	370	2	439	2	508	2	577	2	646	2	715	2	784	2	853	2	922	2	991
23	26	3	95	3	164	3	233	3	302	3	371	3	440	3	509	3	578	3	647	3	716	3	785	3	854	3	923	3	992
24	28	4	97	4	166	4	235	4	304	4	373	4	442	4	511	4	580	4	649	4	718	4	787	4	856	4	925	4	994
25	29	5	98	5	167	5	236	5	305	5	374	5	443	5	512	5	581	5	650	5	719	5	788	5	857	5	926	5	995
26	30	6	99	6	168	6	237	6	306	6	375	6	444	6	513	6	582	6	651	6	720	6	789	6	858	6	927	6	996
27	31	7	100	7	169	7	238	7	307	7	376	7	445	7	514	7	583	7	652	7	721	7	790	7	859	7	928	7	997
28	32	8	101	8	170	8	239	8	308	8	377	8	446	8	515	8	584	8	653	8	722	8	791	8	860	8	929	8	998
29	33	9	102	9	171	9	240	9	309	9	378	9	447	9	516	9	585	9	654	9	723	9	793	9	861	9	930	9	999
30	35	90	104	150	173	210	242	270	311	330	380	390	449	450	518	510	587	570	656	630	725	690	794	750	863	810	932	870	1001
31	36	1	105	1	174	1	243	1	312	1	381	1	450	1	519	1	588	1	657	1	726	1	795	1	864	1	933	1	1002
32	37	2	106	2	175	2	4	2	313	2	382	2	451	2	520	2	589	2	658	2	727	2	796	2	865	2	934	2	1003

Abb. 4. Zeitverrechnungstafel (TWL 6306).

Abrechnung über Teilzahlungen.

Löhn.-Dat.	Des Arbeiters Nr.	Des Arbeiters Name	Vorgegebene Zeit Min.	Gebrauchte Zeit in Stdn.	Gebrauchte Zeit Min.	Gebrauchte Zeit in Min.	Abschlags-Leistungs-Faktor	Verrechnete Zeit Min.	Abschlag oder Rest	Unterschrift des Meisters
8/3.23	2603	Dörries		30	-	1800	73,2	2196	A	
"	2613	Viebrock	14640	25	-	1500	72	1800	A	
"	2622	Kohn		18	-	1080	70,8	1272	A	
"	2647	Jentzen		18	-	1080	69	1242	A	Rabe
		—	6510	91	-	5460		6510	A	
		Restminuten	8130							
15/3.23	2603	Dörries		40		2400		2928	R	
"	2613	Viebrock	8130	45		2700		3040	R	
"	2622	Kohn		30	32	1832		2162	R	
				115	32	6932		8130	R	

Abb. 5. Rückseite eines Arbeitszettels für Gruppenakkord (TWL 6807).

Arbeiter-Nr. 1211 Berufs-Nr. G. 31 Masch.-Nr. 451 Stücklohn-Durchschnitt/Stunde 69,5 „ -Abschlag /Stunde 69 Zeitlohn /Stunde Stücklohnsatz Minute 22,47 Pf.

Art der Masch.-, Zeichnungs- oder Lager-Nr.	Zettel-Nr.	Auftrags- oder Konto-Nr	Bearbeitungs-Nr.	Stückzahl	Gegenstand	Art der Arbeit	Zeit-Vorgabe für das Stück Min.	Zeit-Vorgabe für Einr. Min.	Zeit-Vorgabe Insgesamt Min.	A oder R	Do.	Fr.	Sa.	So.	Mo.	Di.	Mi.	Gebrauchte Zeit Insges. Std.	Gebrauchte Zeit Insges. Min	Gebrauchte Zeit Stücklohn Min.	Gebrauchte Zeit Zeitlohn Min.	Verrechnete Zeit Min.
E.16234	3	100068	6	4/2	Exz. Scheiben	drehen			422	R.	6							6		360		422
E.16234	3	100074	6	2/2	"	"			247	R.	2	1³⁰						3	30	210		247
H.29789	5	100073	1	4/2	Kolbenkörper	"			2860	II. A.		6³⁰	8		8	8	2³⁰	33		1980		2277
E.16266	1	100070	1	10	Gehäuse	"	282	36	2856	I. 1.							5³⁰	5	30	330		380
											8	8	8		8	8	8	48	-	2880		3326

Abb. 6. Innenseite einer Stempelkarte (TWL 6308).

6. Aufgabe einer geschickten Vorkalkulation ist es deshalb, durch Verfolgung und richtige Berücksichtigung dieses Verhältnisses sowohl die Vorgabezeiten, als auch die Akkordgrundlagen so festzulegen, daß, ohne den Anreiz zur Leistungssteigerung zu beeinträchtigen, die Ergebnisse innerhalb zulässiger Grenzen im Rahmen der durch die Tarifverträge gegebenen Zahlen bleiben.

Ich bringe nunmehr in den Abbildungen 1 bis 8 ausgefüllte Vordrucke der Firma R. Wolf A.-G. zur Wiedergabe, welche zeigen, wie sich die Handhabung des Zeitakkordes bei der Vorgabe der Arbeit sowohl als auch bei der Abrechnung weiterhin praktisch gestaltet.

Hinsichtlich des organisatorischen Aufbaues der Arbeitsverteilung und Abrechnung, dessen Kenntnis für das Verständnis des Zusammenhanges wesentlich ist, verweise ich auf meine Veröffentlichung über „Sparwirtschaftliche Maßnahmen usw." in Heft 5, 6, 7 der Zeitschrift „Maschinenbau" Abteilung „Betrieb" vom 12. Januar 1923, aus der ersichtlich ist, wie dieser Aufbau bei der Firma R. Wolf A.-G. getroffen wurde. Hieraus wiederholen will ich nur die in dieser Veröffentlichung enthaltene Abbildung 9, die den Zusammenhang der verwendeten Vordrucke wiedergibt. Zu den Abbildungen 1 bis 8 selbst dürfte eine besondere Erläuterung nach den bisherigen Ausführungen nicht erforderlich sein. Hinweisen möchte ich allerdings auf die Art und Weise, wie die aus Abb. 3, 4 und 5 ersichtliche Abschlagsregelung und die Gruppen-Akkordabrechnung durchgeführt wird.

Diese erfolgt an Hand der aus der Verdienststatistik bekannten, in Vorgabezeitminuten ausgedrückten Verdiensthöhen der einzelnen Arbeiter. Die für die Abschlagrechnung in Frage kommenden tatsächlich gebrauchten Stunden werden unter Benutzung von Tabellen nach Abb. 4 näherungsweise in Vorgabezeit-Minuten umgerechnet und diese für die Abschlagzahlung in Rechnung gestellt, so daß die verbleibende Leistung wieder in Vorgabezeit-Minuten ausgedrückt wird. Diese Maßnahme hat sich zur Aufrechterhaltung des Anreizes zur Leistungssteigerung als besonders geeignet erwiesen. Der Arbeiter wird durch die Angemessenheit der sich dabei ergebenden Restzeiten gegenüber seiner Durchschnittsleistung veranlaßt, auch diese Restzeilen voll auszunutzen und nicht in der Schlußwoche mit der Arbeit deshalb zurückzuhalten, weil ihm für diese ein zu großer Rest an Vorgabezeit belassen wird. Nach ähnlichen Grundsätzen ist die Abrechnung des Gruppenakkordes durchgeführt, die an Hand von Abb. 5 wohl ohne weiteres verständlich sein dürfte.

V. Die Vorteile des Zeitakkordes für die Betriebsführung im allgemeinen, die Betriebsabrechnung und den Wirtschaftsfrieden.

Überblickt man nach diesen Darlegungen die Vorzüge, welche der Zeitakkord für den Betrieb bietet, so ist kurz folgendes zu sagen: Sein Hauptvorteil liegt darin, daß er an Stelle des schwankenden Geldwertes den feststehenden Zeitbegriff in den Vordergrund stellt und dadurch die Notwenigkeit, damit hauszuhalten, jedem im Betrieb Tätigen dauernd wirkungsvoll vor Augen führt. Dieser Umstand wirkt sowohl für das Aufsichtspersonal, als auch für die Arbeiterschaft dauernd erzieherisch. Ein weiterer großer Vorteil, der infolge der Entwicklung der Geldentwertung in den letzten Jahren in erster Linie zur Anwendung des Zeitakordes drängte, liegt darin, daß er es ermöglichte, den rasch sich wiederholenden Tarifänderungen in der einfachsten Weise folgen zu können. Aber darüber hinaus wird der Zeitakkord auch dann, wenn wieder stetige Geldverhältnisse eintreten, uns dadurch dauernde Vorteile bringen, daß er dazu zwingt, das Verhältnis zwischen vorgegebener und tatsächlich verbrauchter Zeit nicht nur des einzelnen Mannes, sondern auch für die hauptsächlichsten Berufsgruppen dauernd zu verfolgen. Der Verlauf der Änderungen dieses Verhältnisses veranlaßt dann zu untersuchen, ob und wie die Arbeitsleistungen sich geändert haben, bzw. ob die Vorkalkulation

richtig gearbeitet hat. Die Statistik über diese Zahlen gibt also wertvolle Hinweise, um nötigenfalls nach beiden Seiten verbessernd und erzieherisch eingreifen zu können. Die Einführung des Zeitakkordes bringt weiterhin volle Gewähr, daß die mit der Zeitbemessung betrauten besonderen Organe auch wirklich ausschließlich für die Zeitenbestimmung und Zeitenverfolgung ausgenutzt und nicht mehr mit rein rechnerischen Nebenarbeiten, wie Umrechnung von Geldakkorden, belastet werden, die sie ihrer eigentlichen Aufgabe entziehen.

Die Anwendung des Zeitakkordes in der vorgeführten Weise führt ferner zu nicht unerheblichen Vereinfachungen in der Lohnrechnung. Wie aus den Beispielen zu ersehen war, sind zunächst nur die vorgegebenen und geleisteten Zeiten zu verfolgen, und man kann für die Umrechnung von Zeit auf Geld auf den einzelnen Arbeitszetteln verzichten. Es genügt zur Errechnung des Wochenverdienstes jedes einzelnen Mannes, die Gesamtsumme der in jeder Lohnwoche erledigten Vorgabezeiten in Geld umzurechnen, was natürlich eine ganz erhebliche Erleichterung bedeutet. Außerdem ist es auf diese Weise möglich, eine klare Trennung der Arbeiten zwischen Betrieb und Lohnbüro durchzuführen. Im Betrieb werden nur Zeiten verfolgt und abgerechnet, was für die Bedürfnisse der Werkstatt vollständig ausreicht, während die ganze Umrechnung von Zeit in Geld auf Grund der vom Betrieb zusammengestellten Unterlagen im Lohnbüro durchgeführt werden kann. Das gleiche gilt für die Selbstkostenberechnung. Die Anwendung des Zeitakkordes hat zur Folge, daß auch diese, soweit es sich um Lohnbeträge handelt, zunächst nur nach Zeiten durchgeführt wird. Zur Umrechnung in Geld für die Nachkalkulation oder die Unkostenrechnung ist es dann, solange die Geldentwertung anhält, allerdings notwendig, um die erforderliche Abstimmung mit der Buchhaltung herbeizuführen, die Errechnung von Durchschnittswerten für die Lohnbeträge innerhalb bestimmter Zeitabschnitte, z. B. monatlich, vorzunehmen. Das ist aber einfach durchzuführen, ergibt für die in Frage kommenden Zwecke hinreichende Genauigkeit und ist jedenfalls sehr viel rascher und sicherer zu erledigen, als wenn jeder einzelne Arbeitszettel umgerechnet werden muß, und zwar unter Umständen eine Reihe von Lohnperioden hindurch. Ich glaube nicht, daß das praktisch in letzter Zeit überhaupt noch möglich war. Auch bei der Festlegung der Verkaufspreise kann man, wenn in der Nachkalkulation der Arbeitswert in Zeit statt in Geld ausgedrückt wird, den wechselnden Geldverhältnissen rasch folgen.

Die richtige Handhabung des Zeitakkordes entlastet also die Werkstatt und das Aufsichtspersonal sowohl, als auch die Abrechnungsstellen sehr erheblich von Schreibarbeit und macht die Zeit für andere wichtige Arbeiten frei.

Auf die weiteren großen Vorteile, welche die Zeitvorgabe für die Verfolgung der Fertigung und der von den verschiedenen Abteilungen eines Werkes zu bewältigenden Arbeitsmengen und damit für den Aufbau von ganzen Arbeitsprogrammen bietet, habe ich in meiner bereits erwähnten früheren Arbeit über sparwirtschaftliche Maßnahmen bei der Arbeitsvorbereitung, Verfolgung und Abrechnung eingehend hingewiesen, so daß ich mich wohl darauf beziehen darf.

Eine klare Zeitvorgabe wirkt ferner in günstigster Weise auf die ruhige Arbeit im Betrieb und damit auf den Wirtschaftsfrieden ein, dadurch, daß sie durch ihre Durchsichtigkeit zur Stärkung des gegenseitigen Vertrauens zwischen Arbeiterschaft und Betriebsleitung wesentlich beiträgt.

Ich möchte im Anschluß hieran insbesondere auch auf die Vorschläge in den bereits angeführten Veröffentlichungen von Direktor Schmerse verweisen. Diesen Vorschlägen, die dahin gehen, den Zeitakkord auch nach der Seite der sog. sozialen Entlohnung auszubauen, möchte ich mich anschließen. Schmerse weist darauf hin, wie sich das beim Zeitakkord zwanglos mit der Durchführung der Leistungs-Entlohnung vereinbaren läßt, dadurch, daß z. B. für den Akkordarbeiter auch die sog. sozialen Zulagen, sofern solche bezahlt werden, überhaupt sämtliche Sondervergütungen akkordfähig gemacht werden, und auch beim Akkordarbeiter bei der Umrechnung von Zeit in Geld eine Abstufung dem Alter entsprechend erfolgt. Ich möchte das unterstützen und wünschen, daß den dahingehenden Vorschlägen für den Fall des Weiterausbaues der Tarifverträge nach einheitlichen Gesichtspunkten möglichst weitgehend Rechnung getragen wird, weil ich mir davon eine erhebliche Stärkung des für unsere Zukunft so notwendigen Wirtschaftsfriedens verspreche.

Bei stark schwankendem Geldwert könnten dann auch mit Vorteil, wie das in einzelnen Tarifgebieten bisher schon der Fall ist, die Lohntabellen nicht mehr in absoluten Zahlen, sondern ganz allgemein in Verhältniszahlen aufgestellt werden, wobei ein Wert, z. B. der sogenannte Facharbeiter-Spitzenlohn = 1 bzw. = 100 vH, gesetzt werden müßte. Wie eine solche Lohntabelle aussieht, zeigt Zahlentafel 4. Auch sämtliche Sonderzulagen würden dann zweckmäßig in Verhältniszahlen ausgedrückt. Die Festlegungen über die Lohnhöhe hätten sich dann, abgesehen von etwaigen Richtigstellungen der Spannen zwischen den einzelnen

Lohnabrechnung.

Stücklohnsatz/Min. 2247 / Zeitlohnsatz/Std.	Gebrauchte Zeit insgesamt Std.	Min.	im Stücklohn Min.	im Zeitlohn Min.	Verrechnete Zeit Min.	Lohnbetrag Mk.	Pf.
Schwarz	48	–	2880		3326	74735	
Grün							
Rot							
Insgesamt:	48	–	2880		3326	74735	

Zuschläge	%	Anzahl der Stunden	Mark für die Stunde	Lohnbetrag
Überstunden				
Überstunden				
Nachtstunden				
Nachzahlung				

Betrag insgesamt Mark: 74735

Vorstehenden Lohnbetrag anerkannt:
Meister: Rabe | Arbeiter: Küverling

Berufs-Nr. G. 31 Werkstatt: BDM.
Name: Küverling Nr.: 1211
Lohnwoche vom 19. 4. bis 25. 4. 1923.

R. WOLF A.-G., Magdeburg-Buckau.

Wer die Karte eines andern stempelt, wird mit Entlassung bestraft. Irrtümer und Fehler beim Stempeln sind sofort dem Meister zu melden.

Tag	Tagschicht Kommt | Geht / Nachtschicht Geht	Kommt	Unterbrochen Geht	Kommt	Stunden Insgesamt	N.	Ü.	I.	M.
V Do	6[88]								
N		3[45]			8	8			
V Fr	6[30]								
N		3[47]			8	8			
V Sa	6[52]								
N		3[45]			8	8			
V So									
N									
V Mo	6[40]								
N		3[49]			8	8			
V Di	6[35]								
N		3[48]			8	8			
V Mi	6[54]								
N		3[45]			8	8			
					48	48	–	–	–
					Insgesamt	Direkte Norm.-Stund.	Ueber Stund.	Indirekte Stund.	Minder-Stund.

Fo. 1041 a. E. 1349. 7. 23. 50000.

Abb. 7. Außenseite einer Stempelkarte (TWL 6309).

Teilzahlungen für den Auftrag Nr. 100070 Blatt-Nr. 1 Zettel-Nr. 1

Bearb.-Nr.	Arbeit.-Marken-Nr.	Abschlag und Rest: Vorg.-Zeit Min	Löhn. Dat.	Gebr. Zeit Min	Abschlag Faktor	Verrechn. Zeit Min	A/R	Bearb.-Nr.	Arbeit.-Marken-Nr.	Abschlag und Rest: Vorg.-Zeit Min.	Löhn. Dat.	Gebr. Zeit Min.	Abschlag Faktor	Verrechn. Zeit Min.	A/R	Bearb.-Nr.	Arbeit.-Marken-Nr.	Abschlag und Rest: Vorg.-Zeit Min.	Löhn. Dat.	Gebr. Zeit Min.	Abschlag Faktor	Verrechn. Zeit Min.	A/R
1	1211	2856	2/5.	330	69	380	A																
1	"	2476	9/5.	1200	69	1380	A																
1	"	1096	16/5.	1050	–	1096	R																
				2580		2856																	

Werkstoffentnahme und -Verrechnung: Stück	Werkstoff (Wertgruppe, Lieferant, Abmessungen)	Gewicht roh	ausgegeben am	von	Grundpreis Mk.	Pf.	Betrag Mk.	Pf.
						Summe		

Nachkalkulation	
Lohnsumme	
Werkstattzuschläge	
Auslagen für Werkstoff	
Herstellungskosten	
Dat.	Name

Abb. 8. Rückseite eines Stückzettels (TWL 6310).

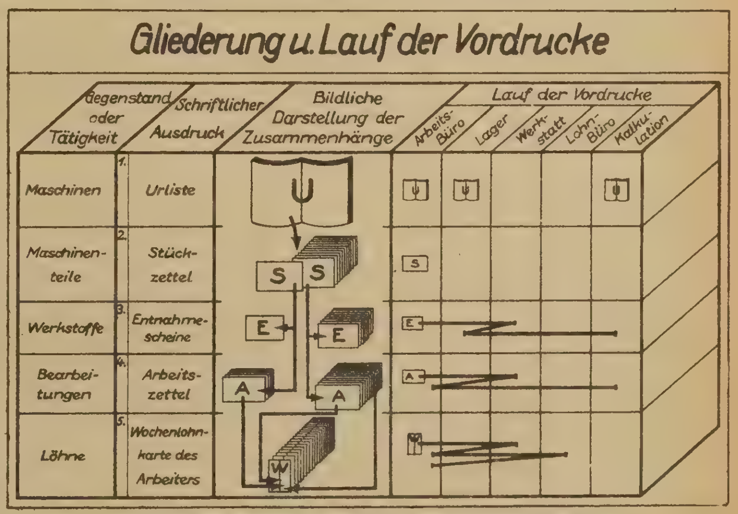


Abb. 9. Gliederung und Lauf der Vordrucke (TWL 1125)
(siehe „Betrieb" 5/6/7 vom 13. Januar 1923 Bild 18).

Berufsgruppen, die heute viel zu gering geworden sind, immer nur auf die Festlegung einer Zahl zu erstrecken. Die Lohnumrechnung vereinfacht sich noch dahingehend, daß vor der Umrechnung von Zeit in Geld sämtliche Zeiten auf die Bewertungszeit einer einzigen Berufsgruppe gebracht werden, was für die Umrechnung in Geld mittels der Rechenmaschine von besonderem Vorteil ist. (Der in Abb. 7 wiedergegebene Vordruck erhält dann die aus Abb. 10 ersichtliche Anordnung.)

Lohnabrechnung

Stücklohnsatz: 2247
Einheitssatz: 1263

Altersklasse von ... bis ... über 23

Wertsatz im Stücklohn 1,16 / Zeitlohn	Gebrauchte Zeit in Std	Gebrauchte Zeit in Min	im Stücklohn in Min.	im Zeitlohn in Min.	Verrechnete Zeit in Min.
Schwarz	48	-	2880		3326
Grün					
Rot					
Insgesamt:	48	-	2880		3326
Wertzeit:	(Wertzahl: II 0,9928 Min.)				3302
Zuschläge	für Std	für Min.	Wertzeit für 1 Std. Min.	Wertzeit für 1 Std. Std.	Wertzeit Min.
Überstunden 25%					
" " 50 "					
" " 100 "					
Nachtstunden					
Summe Wertzeit (einschl. Zuschläge):					

Betrag anerkannt:
Meister: Rabe
Arbeiter: Küverling

Lohn ... Mk.	74735
Nachzahlung	
Gesamt-Betrag	74735

Abb. 10. Lohnabrechnung.

Ich glaube, damit das Wichtigste über den Zeitakkord, sein Wesen, seine Anwendung und seine Vorzüge kurz zusammengefaßt zu haben. Er ist aus der Not unserer Verhältnisse herausgewachsen, wird aber in dem scharfen Wettbewerb, den uns die Zukunft zweifellos bringt, zu einem wertvollen Hilfsmittel für uns werden. Ich halte es deshalb nicht nur für dringend wünschenswert, sondern für geradezu notwendig, daß er sich in gesunder Weise weiter entwickelt und daß er mehr und mehr zur Anwendung gelangt.

Sollten meine Darlegungen dazu beizutragen vermögen, so wäre ihr Zweck erfüllt. [A 2058]

Zahlentafel 4. Zeitlohntabelle.
Grundzahl ist Stundenverdienst eines Facharbeiters.

	Arbeiter im Zeitlohn ohne Wertigkeitszulage	Alter — Jahre: über 23	20 bis 23	18 bis 20	17 bis 18	16 bis 17	15 bis 16	14 bis 15
		Ziffern bedeuten Dezimalstunden oder Minuten						
A	Gelernte Facharbeiter Dreher, Schlosser, Schmiede, Tischler usw.	1,000	0,915	0,754	0,554	0,474	—	—
B	Maschinisten und Heizer für Hochdruckdampfanlagen	0,992	0,902	0,737	0,554	0,474	—	—
C	Maschinenarbeiter, Kernmacher, Gußputzer, Krananhänger u. Kranmaschinisten in Gießereien, Bauarbeiter	0,973	0,868	0,720	0,535	0,457	—	—
D	Krananhänger u. Kranmaschinisten in mech. Werkstätten, Hilfsarbeiter in Gießereien	0,955	0,861	0,713	0,535	0,457	—	—
E	Hilfsarbeiter für mech. Werkstätten und Hof	0,946	0,841	0,686	0,511	0,430	0,129	0,085
F	Boten u. Laufburschen	0,932	0,817	0,649	0,502	0,415	0,122	0,080
G	Lehrlinge	—	—	—	0,213	0,107	0,061	0,037

Wertigkeitszulagen	in Dezimalstunden Mindest	Höchst
Vorarbeiter aus dem Facharbeiterstand, Modelltischler	0,018	0,140
Einrichter, hochqualifizierte Werkzeugmacher	0,018	0,127
Reparaturschlosser, Elektriker, Sattler, Klempner	0,003	0,080
Schmiede, Kesselschmiede, Rohrbieger, Former	0,003	0,057
Bauhandwerker	0,003	0,044
Vorarbeiter in Hof- und Transportkolonnen	0,013	0,070

Neuere Eisenbeton-Versuche.

Der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton veröffentlicht in Heft 52 seiner Versuchsberichte[1]) durch Prof. Dr.-Ing. C. v. Bach und Oberingenieur Otto Graf die 1921/22 in der Materialprüfungsanstalt zu Stuttgart ausgeführten Hauptversuche mit zweiseitig aufliegenden Eisenbetonplatten bei konzentrierter Belastung nach dem Arbeitsplan von Prof. Dr.-Ing. Mörsch. Über die Vorversuche ist in Heft 44 berichtet. Die Hauptversuche sind an Platten von 3 m Breite, 2 m Stützweite sowie 10, 14 und 18 cm Dicke durchgeführt. Sie waren mit Rundeisen in der Haupt- und Querrichtung bewehrt. Die Querbewehrung betrug $^1/_7$, ⅓, ⅔ und $^1/_1$ der Hauptbewehrung. Ihnen gegenüber stehen Versuche mit nur 40 cm breiten Balken von sonst gleichen Abmessungen.

Über die Ergebnisse ist unter Hinweis auf die genannte Veröffentlichung kurz folgendes zu sagen: Die Beteiligung der Platte an der Kraftübertragung wird nach den Rändern zu geringer. Die Widerstandfähigkeit der Platten unter der Rißbildungslast entspricht einer voll wirksamen Platte von der Breite $b = 0{,}93$ bis $1{,}0\,l$ (l = Stützweite). Bei der Zerstörung der Platten macht sich die Querbewehrung geltend. Die Höchstlast der 14 cm dicken Platten im Vergleich mit der Höchstlast der 40 cm breiten Balken betrug 0,68 bei $^1/_7$ Bewehrungsverhältnis, 0,83 bei ⅓, 0,96 bei ⅔ und 1,03 bei $^1/_1$. Die Widerstandfähigkeit der Platten unter der Höchstlast entspricht einer voll wirksamen Platte von der Breite $b = 1$ bis $1{,}5\,l$. Die Stärke der Querbewehrung macht sich — so folgert die statische Auswertung dieser Versuche — in der Nähe der Rißbildungslast nicht geltend, wohl aber unter höherer Last, allerdings nur bei Querbewehrungen von $^1/_7$ auf ⅓ der Hauptbewehrung, während die stärkeren Querbewehrungen keinen ausgeprägten Einfluß mehr haben. Für die Praxis ist also die Querbewehrung zu mindestens ⅓ der Hauptbewehrung anzuordnen. Ein erheblicher Unterschied durch verschiedene Querbewehrung wird für die Verteilung der Kräfte nach der Breite hin bis zu hohen Belastungen weit über die zulässige Last nicht erreicht.

Die Lastverteilung über die Plattenbreite ermittelt O. Graf am Schlusse der Veröffentlichung näherungsweise und in Abweichung von den zurzeit geltenden deutschen Vorschriften durch Bestimmung einer „nutzbaren Breite" b für eine Belastungsbreite von 20 cm bei einer Plattenbreite von B wie folgt:

$$B = \quad 100 \quad 200 \quad 300 \quad 400 \quad 600 \text{ cm}$$
$$b = \begin{cases} 0{,}59 \quad 1{,}03 \quad 1{,}37 \quad 1{,}63 \quad 2{,}04 \cdot l \ (\text{Stützweite } 1{,}5 \text{ m}) \\ 0{,}45 \quad 0{,}82 \quad 1{,}11 \quad 1{,}36 \quad 1{,}74 \cdot l \ (\quad " \quad 2 \text{ m}) \\ 0{,}31 \quad 0{,}58 \quad 0{,}81 \quad 1{,}02 \quad 1{,}35 \cdot l \ (\quad " \quad 3 \text{ m}) \end{cases}$$

Mörsch weist darauf hin, daß bei einer kontinuierlichen Balkenbrücke aus Hauptträgern mit zugehöriger Deckenplatte diese Schlußfolgerung für die nutzbare Breite nicht gilt, da die Platte von den negativen Balkenmomenten quer zu den Tragstäben gezogen wird, der Beton allein weniger eine konzentrierte Radlast auf größere Breite verteilen kann, also für solche Fahrbahnteile eine mäßigere Querverteilung der Last am Platze ist.

Welche Bedeutung die Versuche haben, geht aus den letzten Mitteilungen zur Genüge hervor. Sie gewähren wichtige Einblicke in die Lastverteilung und empfehlen sich zum Studium und weiteren Ausbau.

Berlin. [M 2025] Karl Bernhard.

[1]) Berlin 1923, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

CHRONIK 1923

(Fortsetzung von Seite 35).

Brücken und Baukonstruktionen.

Ein schwarzes Jahr ist über Deutschland dahingegangen. Infolge der Ruhrereignisse ist das Wirtschaftsleben in Verfall gekommen, und da ist es kein Wunder, daß in erster Linie das gesamte Bauwesen völlig daniederliegt. Ob die Stabilisierung der Währung, die Rentenmark und die Steuerschraube die ersehnte Besserung noch bringen kann, bleibe dahingestellt. Unsre Hoffnungen klammern sich mehr an die Neuregelung der Arbeitszeit und Erhöhung der Arbeitsleistung. Inzwischen ist die geringe Bautätigkeit fast ganz erloschen, die Arbeitslosigkeit im letzten Vierteljahr außerordentlich gestiegen und mit der Goldrechnung, welche die Baustoffpreise sichtbar weit über den Weltpreisen zeigte, erhöhten sich auch die Löhne. Man kann wohl sagen, daß die Baupreise auf das Doppelte der Vorkriegspreise gestiegen sind.

Ein kleiner Keim zur Gesundung soll nicht unerwähnt bleiben. Die mit den Revolutionsgesetzen herbeigeführte Regel, den Unterschied der Löhne gelernter und ungelernter Arbeiter fast verschwinden zu lassen, hat viel Unheil angerichtet. In den Staatsbetrieben bricht sich die Erkenntnis Bahn, daß dies für die Heranbildung des Nachwuchses infolge zu hoher Bezahlung der ungelernten Arbeiter in Zukunft noch gefährlicher werden kann. Dort sind die Löhne der ungelernten Arbeiter auf 0,6 der gelernten Arbeiter heruntergesetzt, während in den übrigen Baubetrieben das Verhältnis der Löhne noch nicht unter 0,9 gesunken ist. Nur so kann der Ansporn, zu lernen und zu leisten, wieder wachgerufen und eine Besserung im Baubetrieb erhofft werden.

Eisenbau

Vom Ingenieurstandpunkt ist über die Praxis des Brückenbaues nichts zu sagen. Die Aufstellung von eisernen Überbauten und die Beschäftigung der Brückenbauanstalten ist auf einen kleinen Bruchteil des normalen Umfanges zurückgegangen. Es handelte sich nur noch um Reparationslieferungen, namentlich für Serbien, die aber letzthin auch ganz eingestellt worden sind. Die deutsche Reichsbahn hat inzwischen die Zahlungen in bar eingestellt, sie zahlt mit Industriewechseln und gibt keine neuen Bestellungen heraus, obwohl es nicht an Plänen fehlt.

Infolge der Ruhrbesetzung sind die dort befindlichen Werke lieferungsunfähig, und die übrigen bekommen nicht genug Walzeisen, oder ihre Bestellungen wurden rückgängig gemacht. Wir stehen aber am Schluß des Jahres vor der Hoffnung, daß dies besser wird und die Kosten der Eisenbauten wieder auf den Weltmarktpreis sinken werden.

Im Eisenhochbau sind nur wenig größere Anlagen für die Eisenbahn bearbeitet und ausgeführt worden, z. B. der Ausbau von Eisenbahn-Werkstätten. Als einziger bemerkenswerter Gegenstand kann die neue Halle des Bahnhofs Friedrichstraße in Berlin genannt werden. Es handelt sich um eine zweischiffige Halle. Das größere Schiff ist für die vier Ferngleise und das andre für die beiden Stadtbahngleise bestimmt; beide sind mit gekuppelten Blechbogenbindern überspannt. Trotz der Ungunst der Zeiten ist das Traggerippe am Jahresende fertiggestellt worden, und die Eindeckung und Umschließung hat bereits begonnen. Die Halle macht einen guten Eindruck. Sie ist konstruktiv und ästhetisch in hohem Maße durchgereift.

Eisenbetonbau

Nur im Industrie- und Wasserbau hat der Eisenbetonbau im wesentlichen sein Arbeitsfeld gefunden, namentlich weil er sich preiswerter stellte als der Eisenbau. Die Not der Zeit, insbesondere die ungeheuren Preise für die Holzeinschalung, hat, wie in meinem vorjährigen Bericht schon angedeutet, Bauweisen hervorgerufen, nach denen Bauteile, in fester Schalung in der Nähe der Verwendungsstelle hergestellt, fertig in das Bauwerk eingebaut werden können. So habe ich im Laufe dieses Jahres eine dreischiffige Walzwerkhalle entworfen und gebaut, deren Seitenbinder aus Eisenbetonrahmen mit in die Mittelhalle kragenden Auslegern bestand; die Eisenbetonfetten und Dachplatten hierfür waren vorher fertiggestellt und wurden beim Einstampfen der Binder aufgebracht. Das größere und höhere Mittelschiff wurde im mittleren Teile durch eiserne Binder gestützt, die ebenfalls gleich nach dem Einstampfen auf die vorläufig abgestützten Kragenden der seitlichen Binder fertig aufgesetzt und eingedeckt wurden. Diese 2500 m² große Halle, ohne jegliches Holz im Fertigzustande, konnte einschließlich Gründung und Erdarbeiten bis zur Maschinenmontage in 10 Wochen hergestellt werden, was nur durch ein reiflich überlegtes Zeit- und Baustoffprogramm möglich war und vor der großen Preissteigerung glücklich gelang. In ähnlicher Weise werden auch Kühltürme und Schornsteine aus fertigen Eisenbetonstücken aufzubauen sein. Von Bedeutung ist, daß am 1. Dezember die Höchstpreise für Zement aufgehoben worden sind.

Wissenschaftliche Arbeiten

Die Geldquellen für die Wissenschaft sind entgegen der im vorjährigen Berichte gemachten Hoffnung leider fast ganz versiegt. Die lehrreichen Tagungen des deutschen Betonvereins, dessen 25jähriger Tätigkeit in Z. Bd. 67 S. 1103 gedacht ist, und des Eisenbauverbandes sind ausgefallen. Der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton hat seine an den verschiedenen Versuchsanstalten in Gang befindlichen Versuchsarbeiten wegen Geldmangels ganz einstellen müssen. Von großer Bedeutung für die wirtschaftliche Zukunft ist die Ende des Vorjahres in Düsseldorf stattgefundene Gründung eines Forschungsinstituts für die Hüttenzementindustrie. Über seine Arbeiten ist natürlich noch nicht viel bekannt geworden.

Wesentlich besser sieht es auf dem Gebiete des Eisenbaues aus. Zur Klärung des Knickproblems sind in Berlin und Stuttgart Vorversuche mit Walzeisen ausgeführt zwecks Gewinnung der Knickspannungslinie für Bauwerkflußeisen. Vorläufig sind mit genaueren Lagereinrichtungen die zu knickenden Stäbe unter Beschränkung der Fehlerhebel auf wenige Tausendstel Millimeter untersucht worden. Weiter sind in Berlin Stoßdeckungen geprüft, und es ist festgestellt worden, daß die gestoßenen Platten und deren Decklaschen unabhängig von andern ungestoßen durchlaufenden Querschnittstellen sich dehnen und gleiten können und daß die Spannungen von der Stoßstelle aus fast gleichmäßig ab- und zunehmen. Abgeschlossen sind die Versuche über die Anschlüsse steifer Stäbe und die Frage zweckmäßiger Winkeleisenanschlüsse in Berlin. Die üblichen Anschlüsse mit Beiwinkeln haben gegenüber den Anschlüssen nur eines Schenkels der Winkeleisen keine Verbesserung gezeigt. Ungewöhnlich lange Nietanschlüsse sind also keineswegs ein Nachteil. Bei Verwendung von Beiwinkeln ist für sie ein Überschuß an Nietquerschnitten von 50 vH ratsam. Endlich sind in Dresden Zerreißversuche mit elektrisch geschweißten Prüfstäben im Gange, deren Ergebnisse zur Fortsetzung ermutigen, da die elektrische Schweißung die Möglichkeit zu bieten scheint, in absehbarer Zeit an Stelle gewisser Nietungen zu treten. [M 16] Karl Bernhard.

Erd- und Wasserbau.

Allgemeine Lage

Das Berichtjahr 1923 hat sich noch weit ungünstiger für die Fortführung der Unternehmungen auf dem Gebiete des Erd- und Wasserbaues erwiesen als das Vorjahr. Reich, Länder und Gemeinden als die hauptsächlichen Träger dieser Aufgaben waren immer weniger imstande, sie weiterhin im gehörigen Maße zu fördern. Der äußere Druck und besonders die jäh verschlechterte Finanzlage zwangen vielmehr zu Einschränkungen und Einstellungen höchst wichtiger Bauvorhaben. Mehrfach wurde die Fortführung in Form von Aktiengesellschaften unternommen. Die Abschnürung von den Erzeugungsstätten des Rhein- und Ruhrgebiets brachte manche Erschwernis in der Baustoffbeschaffung.

Fluß- und Kanalbauten, Binnenhäfen, Wasserkraftwerke

Neue Arbeiten wurden nicht in Angriff genommen, einige begonnene konnten vollendet werden. Viele Vorarbeiten für die Zukunft sind geleistet. Besonders erwähnenswert ist die Fertigstellung der Kraftanlagen am Walchensee (Loisach) und bei Töging (Inn); die „Mittlere Isar" hat etwa noch ein Jahr Bauzeit. Auch die Donaustaustufe bei Passau und die Mainstufe bei Viereth der Rhein-Main-Donau-A.-G. sind kräftig gefördert, ebenso die Stufen der Neckarkanalisierung bei Wiblingen und Neckarsulm. Die französischen Pläne der Stufe Kembs am Oberrhein werden zur Zeit durch die Schweizer Behörden geprüft.

An den norddeutschen Kanälen ist an den Ergänzungsschleusen weiter gebaut, die Vergrößerung des Hunte-Ems-Kanals erheblich gefördert worden. An der Ruhr werden bedeutende Wasserkräfte ausgebaut. Die Diemeltalsperre (20 Mill. m³) wird nun in Betrieb genommen, der Ausbau der Werra-Staustufe bei Münden ist fast vollendet, der bei Freienhagen an der Fulda dagegen eingestellt. Das Kraftwerk der Stufe Jannowitz (1200 kW) der kanalisierten Oder ist fertig, Koppen (800 kW) nahezu vollendet. Das Staubecken Ottmachau der Glatzer Neiße ist vorläufig zurückgestellt. An der unteren Oder ist der hochwasserfreie Abschluß zwischen Ost- und West-Oder bei Schwedt durchgeführt, das Wehr bei Niedersaaten ziemlich vollendet, die Schleuse bei Nipperwiese im Bau.

In Pommern ist der Stolpestaudamm bei Klaushof mit Kraftwerk fertig, der Staudamm und das Kraftwerk an der Radue bei Roßnow (3300 kW) in Betrieb gesetzt, ebenfalls die an der Alle bei Friedland und Gr. Wohnsdorf in Ostpreußen (10 850 und 1900 kW). Der Ausbau des Pregels ist gefördert und die Schleuse Gerzuhnen vergeben worden.

Der Westhafen von Berlin ist in ganzem Umfange dem Verkehr übergeben, der Hafen Aschaffenburg ist fertig, vom Hafen Hanau ein Teil der Vollendung nahe. Bei Hannover und Minden sind Häfen im Bau.

Seebauten und Seehäfen

Nur die begonnenen Bauvorhaben wurden notdürftig weitergeführt. In Emden sind Umschlageinrichtungen für Erz und Kohle durch eine Aktiengesellschaft geschaffen. Der Wibbelsumer Deich ist hochgeführt. Das Fedderwarder Fahrwasser der Außenweser ist in Benutzung genommen. Die Doppelschleuse Geestemünde ist im Rohbau fertig. Die Verwendung von Gußbeton hat sich bewährt. Am Fischereihafen Büsum ist der Westdamm fertig (Erddamm mit Pflaster). Der Bahndamm nach Sylt über das Watt ist begonnen, doch hat er wie auch das Baugerät schwere Sturmflutschäden erlitten; die Arbeiten mußten vorzeitig abgebrochen werden. Die Stadt Flensburg hat ihren Freihafen eröffnet, ebenso Königsberg. Die Wasserstraße Swinemünde-Stettin wird in beschränktem Umfang begradigt und verbreitert. Die Befeuerung der Küsten und Häfen sucht man von menschlicher Bedienung mehr und mehr unabhängig zu machen, indem man sie an Überlandzentralen anschließt und bei deren Störung selbsttätig Gasglühlicht einschaltet.

Landeskulturarbeiten Auf den fiskalischen Mooren Preußens sind 1200 ha urbar gemacht und weitere Flächen vorbereitet. Wo im Moor große Stämme versunken lagen, so daß der Landbaumotor den Umbruch nicht bewältigen konnte, bewährte sich der Trecker mit Anhängepflug. Die großen Meliorationen in der Senne bei Paderborn, im Havel- und Rhinluch, sowie in den Gebieten der Nuthe und Notte sind — neben vielen andern — im Gange.

Im Nemoniengebiet (Ostpreußen) ist der Oboliner Polder von etwa 5000 ha mit Schöpfwerk fertiggestellt. In ihm wie im Tawelninker Polder werden Folgeeinrichtungen (Wege, Binnenentwässerungen, Umbruch, Gebäude u. dergl.) geschaffen. Deichbauten sind auf Norderney begonnen, auf Nordstrand für 600 ha vollendet.

An kleineren und größeren Meliorationsarbeiten ist eine sehr große Zahl für die Ausführung vorbereitet durch Aufstellung von Entwürfen, Ertragberechnung und Gründung oder Einleitung der Gründung der Genossenschaften, die Träger des Unternehmens werden sollen. Sie kommen als Notstandarbeiten in Frage. [M 2129] R. Seifert.

Eisenbahnwesen.

Die Eisenbahnen im Ruhrkampf Die deutsche Reichsbahn stand das ganze Jahr hindurch unter dem furchtbaren Zeichen des Ruhreinfalls. Unsre haß- und furchterfüllten Gegner haben genau gewußt, wie schwer sie das deutsche Wirtschafts- und Verkehrsleben treffen mußten, wenn sie ihre Banden gerade auf das Ruhrgebiet losließen, beträgt doch sein Verkehr, an dem Güterversand gemessen, mehr als 30 vH des deutschen Gesamtverkehrs.

Die Eisenbahnen haben einen schweren Kampf bestehen müssen, weniger vielleicht die oberste Leitung, als vielmehr die örtlichen Behörden und vor allem die einzelnen Beamten und Arbeiter. Was von ihnen an Mannhaftigkeit und Erdulden geleistet worden ist, steht wirklich unerreicht in der Welt-Eisenbahngeschichte da, wobei vor allem auch der Frauen und Kinder der Vertriebenen, Eingekerkerten und Ermordeten zu gedenken ist. Aber dieser entsetzliche Kampf zeigt uns auch, daß unser Volk der Genesung entgegengeht; Liebe und Treue zum Vaterland, die bei vielen so schwach geworden waren, sich bei nicht wenigen ins Gegenteil verkehrt hatten, sie kehren zurück, und daraus darf man die Hoffnung auf eine kommende bessere Zeit ableiten.

Wie schwer die Wunden sind, die dem Eisenbahnwesen und den anderen Verkehrsmitteln im Ruhrgebiet geschlagen worden sind, läßt sich zurzeit nicht übersehen; sicher ist aber, daß unendliche Werte an Bahnhöfen, Sicherungsanlagen, Betriebsmitteln usw. vernichtet sind.

Wirtschaftslage der Reichsbahn In engem Zusammenhang mit dem Ruhr-Einbruch steht die ungünstige wirtschaftliche Lage der Reichsbahn. Daß die Verhältnisse schlimmer lagen, als aus den üblichen Berichten, Reichstagsreden usw. zu entnehmen war, konnte dem Fachmann nicht verborgen bleiben. Die Reichsbahn kann nicht nur für Lieferungen und Leistungen nicht zahlen, sondern sie ist außerdem tief verschuldet. Das deutsche Volk und seine berufenen Vertreter sind hierüber offensichtlich nicht rechtzeitig unterrichtet worden; es ist höchste Zeit, daß das nachgeholt wird. Es muß Aufklärung verlangt werden, was geschehen ist, wer die Verantwortung zu tragen hat, wie hoch und an wen die Reichsbahn verschuldet ist.

Staats- oder Privatbetrieb Der Staatsbahngedanke hat hierdurch einen weiteren heftigen Stoß erhalten. Ob es zweckmäßig ist, den Streit „Staats- oder Privatbetrieb" heute weiter zu führen oder gar die Entscheidung in einer politisch so gespannten Zeit erzwingen zu wollen, bleibe dahingestellt; verlangt muß aber werden, daß endlich die Bürokratie, die in der Eisenbahn nur die „Verwaltung" sieht, beseitigt wird, und daß die Reichsbahn wirklich nach den erprobten Grundsätzen der Privatwirtschaft betrieben wird; bürokratisch eingestellte Männer mögen für politische Dinge ja ganz brauchbar sein, die Eisenbahn ist aber weder eine Verwaltung, noch eine Staatseinrichtung, noch eine politische Angelegenheit, sondern ein dem Verkehr dienendes technisch-wirtschaftliches Unternehmen, und an dessen Spitze gehören Männer, die frei von politischen Einstellungen als Fachleute Verkehr, Wirtschaft und Technik vollkommen verstehen.

Beamten-Abbau Wie weit wir aber von diesem Verständnis noch entfernt sind, zeigt die Einleitung des Beamten-Abbaues. So sehr man es begrüßen muß, daß endlich mit den Schematischen Übertreibungen der Acht-Stunden-Arbeit — die sich heute selbst die reichsten Völker nicht leisten können — Schluß gemacht wird, und daß überflüssige Kräfte entfernt werden, so sehr muß man bezweifeln, ob der Abbau wirklich nach wirtschaftlichen Rücksichten erfolgt; die Zusammensetzung der „Abbaukommissionen" zeigt eine Übermacht der Bürokratie und eine Zurücksetzung der technisch-wirtschaftlichen Intelligenz, daß man das Schlimmste befürchten muß. Die Ansichten maßgebender Herren gehen dahin, daß man in erster Linie die Fachdezernate beseitigen müsse, womit natürlich nur sogenannte technische Dezernate gemeint sind; alle Fachleute sind sich aber wohl darüber einig, daß ein nahezu bankerottes Unternehmen in allererster Linie schärfster Aufsicht und höchster Fachkunde bedarf; der Bürokrat indes paradiert mit dem einen Gehalt, das er spart, und sieht nicht, daß der vielfache Betrag durch verteuerte Unterhaltung oder Vernichtung der Substanz zum Fenster hinausgeworfen wird. Auch die Einstellung der Bautätigkeit muß jeden Fachmann mit den größten Bedenken erfüllen; sie bedingt Wertminderungen bestehender Anlagen und Erhöhungen der Betriebskosten.

Erfreulich ist ein unverkennbarer Aufschwung in wissenschaftlichen Arbeiten auf technischen Einzelgebieten, besonders in den verkehrs- und betriebstechnischen sowie den technisch-wirtschaftlichen Fragen.
[M 12] Blum.

Eisenbahnmaschinenwesen.

Im Bau der Eisenbahn-Betriebsmittel sind keine besonders bemerkenswerten Fortschritte zu verzeichnen. Die Fabriken legten um so mehr Wert auf Verbesserungen in der Fertigung durch weitere Ausbildung der Normung und Entwicklung des Austauschverfahrens.

Arbeiten der Reichsbahn Die Reichsbahn setzte die Schaffung eines einheitlichen Lokomotivparkes fort, wobei die Zahl der Bauarten wesentlich vermindert wird, und schritt im Bau eiserner Personenwagen und der Einführung der durchgehenden Güterzugbremse weiter. Als Vorbereitung zum elektrischen Betrieb der Berliner Stadtbahn wurden 5 Versuchszüge zur Erprobung der besten Sitz- und Türanordnungen, aber noch ohne elektrische Ausrüstung, in Betrieb genommen. Außerordentlich wichtig ist die durchgeführte Neuorganisation der Ausbesserwerke, deren Arbeit insbesondere dadurch rationeller geworden ist, daß den einzelnen Werken nur eine beschränkte Zahl verschiedener Bauarten zugeführt wird. Aber auch sonst, z. B. in der Altstoffverwertung unter Anwendung neuzeitlicher Schweißverfahren, in der Beschleunigung und Verbilligung der Ausbesserarbeiten durch Zeitaufnahmen und Fristenbemessung und manchen andern Arbeitsverfahren sind bedeutende Fortschritte erreicht worden.

Dampflokomotiven mit erweiterten Druckgrenzen Äußerlich kaum bemerkbar, jedoch im stillen sehr lebhaft waren die Arbeiten zum Ersatz der Lokomotive Stephensonscher Grundform durch eine wirtschaftlichere Bauart. Diese Bestrebungen gehen in drei Richtungen: 1) Die Dampflokomotive kann durch Erweiterung der Druckgrenzen sparsamer gemacht werden. Die Erweiterung nach unten bedeutet Dampfniederschlag, Ersatz des Dampfstrahlgebläses (Schornstein mit Blasrohr) durch künstlichen Zug und Einführung der Turbine statt der Kolbenmaschine. Letzteres ist keine zwingende Notwendigkeit, jedoch vielfach vorteilhaft, weil sonst die Zylinder so groß werden müssen, daß sie schwer unterzubringen sind. Besonders schwierig ist die Abführung der großen Wärmemengen aus dem Kühlwasser des Kondensators. Die bei der Schweizerischen Turbolokomotive gewonnenen Erfahrungen wurden bei der Kruppschen mit Erfolg verwertet. Für die Erweiterung der Druckgrenzen nach oben, bis zu 60 at und mehr, liegen zur Zeit nur Vorarbeiten vor. Daß es jetzt gelungen ist, auch Dampfturbinen mit solchen Drücken zu betreiben, ist für die Arbeiten in dieser Richtung von großer Bedeutung.

Diesellokomotiven 2) Ein zweites Bestreben ist auf Schaffung der Diesellokomotive gerichtet, d. h. auf das Problem, große Leistungen von der Dieselmotorwelle auf die Treibachsen unter stark veränderlicher Übersetzung zu übertragen. Rußland ist hierin durch Bestellung einer 1200 PS-Güterlokomotive mit elektrischer Übertragung vorangegangen. In Betracht kommen noch Übertragungen durch Flüssigkeiten, Luft und Zahnräder, die aber erst für kleine Leistungen erprobt sind. Ferner ist in Italien eine Dampfübertragung ausgeführt; hierbei wird ein kleiner Dampfkessel durch Feuer in Betrieb gehalten, die Hauptmenge des Frischdampfes aber durch Verdichtung des Abdampfes durch einen Dieselkompressor gewonnen. Eine Ausnutzung der Abgaswärme des Dieselmotors ist bei Luft- und Dampfübertragung möglich; die Luftübertragung leidet an Verlusten durch Undichtheiten, die Dampfübertragung an Kondensationsverlusten.

Thermolokomotiven 3) Zwischenglieder möglichst zu vermeiden, ist das Ziel der Thermolokomotive, deren Arbeitsprozeß den Anforderungen des Eisenbahnbetriebes angepaßt ist. Hierhin gehört z. B. die Stillmaschine, die mit den Treibachsen unveränderlich gekuppelt werden kann. Andre Vorschläge, z. B. von Schelest und von Lontkewitsch, sind auf ihre Ausführbarkeit und Vorteile noch nicht genügend geprüft.

Das Verlassen der Stephensonschen Grundform verursacht gewaltige Schwierigkeiten und führt zu sehr vielteiligen Bauarten, mit denen der Betrieb sich nicht befreunden kann. Das Ziel jedoch, den Wärmeverbrauch auf die Hälfte bis ein Drittel zu vermindern, ist der Mühe wert. [2043] F. Meineke.

Kraftfahrzeuge.

Straßenverkehr Der Fortschritt des abgelaufenen Jahres ist größer, als man bei der Ungunst der wirtschaftlichen Verhältnisse erwartet hätte, namentlich, wenn man den Überblick auch auf das Ausland ausdehnt. Man erkennt dann, daß die Mechanisierung des Straßenverkehrs und im Zusammenhang hiermit die Erkenntnis, daß die Anpassung des Straßennetzes an die Forderungen des neuzeitlichen Schnellverkehrs eine der dringendsten Forderungen ist, immer weitere Kreise zieht und daß immer größer werdende Teile der Bevölkerung auf das Kraftfahrzeug als Beförderungsmittel angewiesen werden. Erfreulich ist, daß sich auch das Zusammenarbeiten von Eisenbahn und Kraftwagen, wo, wie z. B. in Berlin, die wirtschaftlichen Vorbedingungen dafür vorhanden sind, weiter entwickelt. Die Vorteile dieser Zusammenarbeit werden sich noch deutlicher zeigen, wenn man durch Verwendung von leicht auswechselbaren Aufsätzen die Zeitverluste beim Beladen und Entladen der Fahrzeuge verringert haben wird.

Gebläsemotor Technisch ist das Eintreten des mit Gebläseaufladung arbeitenden Motors nach der Bauart der Daimler-Motoren-Gesellschaft, Untertürkheim, in den praktischen Gebrauch wohl die wichtigste Neuerung des letzten Jahres. Nachdem sich mit solchen Maschinen ausgerüstete Fahrzeuge wiederholt bei großen Rennen bewährt haben, kann man annehmen, daß die anfänglichen Schwierigkeiten überwunden sind und ein wichtiger Fortschritt durch die Möglichkeit, die Leistung der Maschine vorübergehend erheblich zu steigern, erreicht

worden ist. Langsamer führt sich dagegen die Anwendung von Leichtlegierungen für den Aufbau der Zylinder oder für die Herstellung von Triebwerkteilen ein, wovon man namentlich bei den sehr schnell laufenden Maschinen großen Vorteil erwartet hatte. Man kann sogar die Beobachtung machen, daß in dieser Hinsicht bei uns noch immer mehr als im Ausland geschieht; selbst von den Leichtmetallkolben hört man immer weniger, vielleicht weil die Frage noch immer nicht restlos gelöst ist.

Brennstoffe Auf diesem Gebiet wird allenthalben viel gearbeitet; bewegen sich bei uns diese Arbeiten vornehmlich in der Richtung, die teuren leichtverdampfenden Brennstoffe durch schwerere zu ersetzen, möglichst durch solche, die bei der Verkokung von Braun- oder Steinkohle gewonnen werden, wobei die Durchbildung der Dieselmaschine für den Kraftwagenantrieb schon recht weit fortgeschritten ist, so spielen in Frankreich die Versuche, Spiritus oder koloniale Öle zu verwerten, heute eine große Rolle. In den Vereinigten Staaten, wo man noch über schier unbegrenzte Benzinquellen verfügt, hat man in der letzten Zeit den Ursachen des Klopfens der Maschinen bei höherer Verdichtung nachgeforscht und sehr wichtige Mittel zum Verhindern dieser Erscheinung gefunden, die auch schon auf den Markt gebracht worden sind. Im Zusammenhang mit diesen Forschungen, die teilweise durch die Forderungen der Luftfahrt veranlaßt waren, befaßt man sich in den amerikanischen Laboratorien neuerdings auch damit, das Verhalten der Brennstoffe bei hohem Unterdruck und sehr tiefen Temperaturen zu beobachten, also bei den Verhältnissen, die bei Flügen in großen Höhen vorliegen.

Getriebe Auch auf dem Gebiet der Wagengetriebe kann man die Beobachtung machen, daß deutsche Anregungen befruchtend auf die Erfinder des Auslandes gewirkt haben. Zwar ist der Wagen ohne Getriebe, den der Maybach-Motorenbau schon vor zwei Jahren verwirklicht hatte, sonst von keiner Fabrik ausgeführt worden, aber es fehlt nicht an andern Versuchen, das lästige Wechselgetriebe zu beseitigen, oder wenigstens das Schalten in der Art, wie das die Zahnradfabrik Friedrichshafen angegeben hat, zu erleichtern. Auf den letzten Ausstellungen in Paris und London haben ferner neuartige Antriebe von Lavaud und von Constantinesco mit vollkommen selbsttätiger Änderung des Übersetzungsverhältnisses Aufsehen erregt; es handelt sich hierbei um Verbindungen von schwingenden und Schaltantrieben, die man schon oft vorgeschlagen hat und denen man, auch wenn die Vorführungen angeblich noch so sehr befriedigten, nach früheren Erfahrungen kaum eine große Zukunft vorhersagen kann.

Fahrzeugbremsen Hier vollzieht sich eine wichtige Entwicklung, teils unter dem Einfluß der gesteigerten Fahrgeschwindigkeit, teils infolge der Verwendung von Lüftreifen für schwere Kraftomnibusse und Lastkraftzüge. Auf der einen Seite hat man die Bremsung der Vorderräder trotz der unleugbaren großen Schwierigkeiten der Aufgabe für den Gebrauch in der Praxis reifgemacht, so daß man durch Ausnützung des ganzen Wagengewichtes als Reibungsgewicht die Bremswege verkürzen kann, auf der andern Seite geht man immer mehr dazu über, dem Wagenführer die Anstrengung des Bremsens abzunehmen und die lebendige Kraft des Fahrzeuges oder ein künstlich erzeugtes Druckmittel, Öl oder Luft, zum Betätigen der Bremsen anzuwenden, um hierdurch den Druck auf die Bremsbacken zu steigern. Namentlich bei längeren Kraftlastzügen dürfte die Ausrüstung der Fahrzeuge mit durchgehender Druckluftbremse, womit sich die Knorr-Bremse A.-G. und die Westinghouse Co. beschäftigen, einen Fortschritt in der Sicherheit gegen Unfälle herbeiführen.

Krafträder Erwähnt sei noch, daß auch die Krafträder, wie schon ihre ungeheure Zunahme beweist, inbezug auf Zuverlässigkeit große Fortschritte gemacht haben. Läßt auch ihre Bequemlichkeit für den Fahrer noch manches zu wünschen übrig, so bieten sie doch in der hohen Fahrgeschwindigkeit bei sehr geringem Verbrauch an Betriebsmitteln so große Vorteile, daß sie vielfach an die Stelle der gewöhnlichen Fahrräder getreten sind.

[M 2051] A. Heller.

Luftfahrt.

Politische Einflüsse Auch im Jahre 1923 stand die deutsche Luftfahrt unter dem Druck der politischen Lage. Die Begriffsbestimmungen sind in Geltung und behindern die Wettbewerbfähigkeit Deutschlands im Bau und Betrieb von Luftfahrzeugen mit dem Ausland. Frankreich beachtet dagegen die unter seiner Mitwirkung entstandenen Bestimmungen bei seiner über deutsches Gebiet führenden Strecke Straßburg-Prag nicht. Etwa neun französische Verkehrsflugzeuge wurden beim Notlanden in Süddeutschland von deutschen Behörden beschlagnahmt. Die zur Ausstellung in Gothenburg fliegenden französischen Flugzeuge durften in Bremen nicht zwischenlanden. Deutsche Flugzeugwerke haben Zweigniederlassungen in Rußland, Dänemark, der Schweiz und in Italien gegründet, um dort frei von Fesseln bauen zu können. In französischen Zeitschriften wird vollständige Lahmlegung der deutschen Luftfahrt gefordert.

Das deutsche Luftverkehrsgesetz hat dem Reichsverkehrsminister die Bestimmungen über die Zulassung der Luftfahrzeuge zum Verkehr vorbehalten. Die deutsche Industrie strebt danach, die Prüfung und Überwachung von Luftfahrzeugen auf ihre Lufttüchtigkeit unter Reichsaufsicht von einer Stelle nach dem Vorbild des Germanischen Lloyds oder der Dampfkessel-Überwachungsvereine ausführen zu lassen, während einflußreiche Strömungen diese Aufgaben den Ländern zuteilen wollen. Für ein Verkehrsmittel, das in wenigen Stunden das Reich durchquert, und für die kleine Luftfahrtindustrie, die Deutschland verblieben ist, wäre das aber schlecht angebracht.

Luftfahrzeugbau Anläßlich der Internationalen Luftfahrtausstellung in Gothenburg hatte fast die ganze deutsche Flugzeugindustrie Gelegenheit, ihr technisches Können vor dem Ausland zu zeigen. Der deutsche Teil dieser Ausstellung gab auch deutschen Besuchern Gelegenheit, einen sonst nicht gebotenen Überblick zu erhalten. Im Metallflugzeugbau können die Werke von Junkers und Dornier als unerreicht gelten. Die Junkers-Flugzeugwerke, Dessau, zeigten außer ihrem bekannten starken Verkehrseindecker J 13, der auch in den Wettbewerben gut abschnitt, zwei kleinere Versuchsbauten für 80 bis 100 PS Motorenleistung. Die Dornier-Metallbauten-Gesellschaft, Friedrichshafen, ist in ihren Erzeugnissen vielseitiger. Sie zeigte allerdings zumeist gute Modelle und führte nur die beiden Wasserflugzeuge „Delphin" (220 PS) und „Libelle" (55 bis 75 PS) vor. Der Holz- und der gemischte Flugzeugbau war durch mehrere Flugzeugwerke vertreten. Die Caspar-Werke, Travemünde, zeigten die Zuverlässigkeit ihrer Bauten am Innenaufbau eines halbfertigen Verkehrseindeckers. Heinkel, Warnemünde, trat zum ersten Male selbständig mit einem leichten, schnell zerlegbaren Doppeldecker auf, der in den Wettbewerben Sieger wurde. Das Stahlwerk Mark, Breslau, und der Udet-Flugzeugbau, München, zeigten ausgesprochene Kleinflugzeuge. Von den übrigen Staaten waren Schweden, England, Holland (Niederländische Flugzeugfabrik [Fokker], bei welcher der deutsche Einfluß nachwirkt) eindrucksvoll vertreten; Frankreich hatte die Ausstellung offensichtlich ungenügend beschickt.

Höchstleistungen von Flugzeugen wurden in den Vereinigten Staaten mit 396 km/h Geschwindigkeit auf einem 500 PS-Flugzeug erzielt. Der englische Wettbewerb von Kleinflugzeugen kann als ein unmittelbares Ergebnis des vorjährigen Wettbewerbes mit motorlosen Flugzeugen angesehen werden. Er hat gezeigt, daß die Motorleistung für ein Kleinflugzeug nicht zu klein bemessen sein darf, weil es sonst Wind, Wetter und Höhenunterschiede nicht überwinden und nicht zuverlässig abfliegen kann.

Der Luftschiffbau wird durch das für die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika bestimmte 70 000 m³ fassende Luftschiff des Luftschiffbau Zeppelin, Friedrichshafen, für kurze Zeit neu belebt. Die Probefahrten sind für das Frühjahr 1924 in Aussicht genommen, und mit Zuversicht sieht die deutsche Ingenieurwelt der Überführung des Luftschiffs über den Ozean entgegen.

Motorenbau Die einheimische Motorenindustrie kann die deutsche Luftfahrzeugindustrie bei weitem nicht genügend versorgen. Die Stern-Motoren von Siemens & Halske (Blockwerk) mit 5, 7 und 9 Zylindern, die rd. 55, 77 und 99 PS leisten, verdienen hier hervorgehoben zu werden. Daneben finden auch die Motoren von Hermann Haacke, Berlin-Johannisthal, von rd. 35 PS Verwendung. Die Junkers-Flugzeugwerke haben für ihren Bedarf den 185 PS-Motor der Bayerischen Motoren-Werke nachgebaut. Für das neue Zeppelin-Luftschiff steht ein neuer 400 PS-Maybach-Motor auf dem Prüfstand. Im Motorenbau verdient aber England die größte Beachtung. Dort baut man luftgekühlte Motoren von rd. 500 PS und wassergekühlte Motoren mit Getriebe von 1000 PS. Außerdem stehen für kleinste Flugzeuge Schnelläufer im Bereich von 20 PS zur Verfügung.

Luftverkehr Der innerdeutsche Luftverkehr ist mit dem Reichszuschusse fast ganz verschwunden. Im Verkehr mit den Nachbarländern arbeitet der Deutsche Aero-Lloyd, A.-G., mit der englischen Daimler Hire Ltd. und der Deutsch-Russischen Luftverkehrs-Gesellschaft zusammen. Auf seiner Strecke Berlin-London sind deutscherseits 575 Flüge mit rd. 130 000 km ausgeführt, rd. 500 Reisende, rd. 1600 kg Post und rd. 4800 kg Fracht befördert worden. Das Gesamtergebnis beträgt rd. 2300 Reisende, 3400 kg Post, 32 000 kg Fracht und 474 000 km Flugweg. Der Junkers-Luftverkehr hat sich hauptsächlich im Süden und Südosten ausgebreitet. Er hat 1923 nach vorläufiger Rechnung rd. 21 000 Reisende, 5800 kg Post und 60 000 kg Fracht bei 1 250 000 km Flugweg befördert. Erwähnt sei ferner eine Expedition der Junkers-Werke nach Spitzbergen. Im internationalen Luftverkehr ist dem deutschen Luftverkehr eine beachtenswerte Stellung zugewiesen, die ausgebaut werden muß.

Von großer Bedeutung ist die Einrichtung des Flughafens auf dem Tempelhofer Feld in Berlin, des ersten Flughafens in unmittelbarer Nachbarschaft der Hauptverkehrspunkte einer Weltstadt.

Motorloser Flug Über den Dünen bei Rositten auf der Kurischen Nehrung wurde zu Pfingsten und im August in der Rhön, später noch bei Stockerau unweit Wien geflogen. Zwischen den Wettbewerben wurde nicht geübt, so daß die erwarteten Steigerungen der Höchstleistungen ausblieben. Erst nachträglich gelang es Botsch, in der Rhön nahezu 19 km von der Wasserkuppe bis an die Bahnlinie bei Fulda zurückzulegen. Manch brauchbarer Gedanke kam zum Vorschein, so die hauptsächlich von Winter entworfene und geführte „Charlotte" der Akademischen Fliegergruppe der Technischen Hochschule zu Berlin ohne Leitwerk am Rumpf.

Wissenschaft In einer für die deutsche Luftfahrt schwersten Zeit wurde als erster Lehrstuhl auf diesem Sondergebiet an einer preußischen Technischen Hochschule eine außerordentliche Professur für das Luftfahrwesen in Berlin eingerichtet und dem Leiter der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin-Adlershof, Dr.-Ing. W. Hoff, übertragen. Die Einrichtungen dieser Anstalt sollen dem Hochschulunterricht zugänglich gemacht werden. Die deutsche Luftfahrtwissenschaft hat einen schweren Stand. Ihr fehlen vor allem die Mittel, die andre Staaten, namentlich die Vereinigten Staaten, für solche Zwecke zur Verfügung stellen. Dennoch konnte die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen das zweite Heft ihrer wertvollen Forschungsarbeiten herausgeben. [M 13] Wilh. Hoff.

Schiff- und Schiffsmaschinenbau.

Bei dem Festhalten der Schiffbauer und Reeder am Erprobten überstürzen sich die technischen Neuerungen im Schiff- und Schiffsmaschinenbau nicht, und es gilt in dieser Hinsicht auch heute noch, was im vergangenen Jahr an dieser Stelle gesagt worden ist.

Die wirtschaftliche Lage der Werften hat sich jedoch im letzten Jahr immer mehr zu ihren Ungunsten geändert. Während sie noch bis zum Anfang des vorigen Jahres für den Wiederaufbau unsrer Handelsflotte und für Reparationsleistungen reichlich zu tun hatten, ist heute die Beschäftigung aus verschiedenen Gründen sehr zurückgegangen: Einmal hat der Ruhreinbruch sehr geschadet, da die Werften hierdurch die eingegangenen nahen geschäftlichen Beziehungen zu den Walzwerken nicht ausnutzen konnten, und Schiffbaueisen aus England und sogar aus der Tschechoslowakei beziehen mußten. Auch der Stand der deutschen Eisenpreise gegenüber den Weltmarktpreisen hat die Wettbewerbfähigkeit der Werften beim Hereinbringen ausländischer Bauaufträge beeinträchtigt. Überdies hielten die Reeder im Hinblick auf die schleichende Krise in der Handelsschiffahrt mit Bauaufträgen zurück. Die Folge waren Arbeiterentlassungen auf den Werften, die alles daran setzen, ihren erprobten Arbeiterstamm zu erhalten.

Übergang zum Dieselschiff Eine Änderung ist im Schiffbau insofern zu verzeichnen, als sich England, das führende Schiffbauland, heute offen für das Motorschiff einsetzt, nachdem es sich genügend Ölquellen gesichert hat. Regierung, Werften und Reedereien gehen daran, die englische Handelsflotte zu verjüngen, wobei die Werften in aller Stille Hilfsgelder zum Bau von Dieselschiffen erhalten.

Beim Wiederaufbau unsrer Handelsflotte hat man sich aus guten Gründen nicht so auf das Dieselschiff festgelegt, zumal seine Baukosten höher als die eines Schiffes mit Kolbenmaschinen und unsre Ölvorräte gering sind. Dies ist noch derselbe Grund, weswegen deutsche Kriegsschiffe hauptsächlich für Kohlenfeuerung eingerichtet worden waren. Der Wettstreit zwischen Kolbenmaschine, Getriebeturbine und Dieselmotor, der auf Seeschiffen in den letzten Jahren ausgetragen worden ist und zu mancherlei Verbesserungen bei den verschiedenen Antriebarten geführt hat, hat neuerdings auch auf die Binnenschiffahrt übergegriffen. So hat die Fa. Escher, Wyß & Cie. einen Radschlepper mit Getriebeturbine erprobt[1]), einen weiteren hat die Schiffs- und Maschinenbau-A.-G., Mannheim, in Bau. Auf den von der Walsumwerft der Gutehoffnungshütte gebauten und mit Motoren der MAN ausgerüsteten Doppelschrauben-Dieselschlepper „Haniel XXVIII" haben wir in Z. Bd. 67 S. 320 hingewiesen. Die Leistung der Kolbenmaschinenanlage kleiner Linienschiffe mit niedrigem Schornstein ist nach Angabe von Ebelt durch Einbau des Turbobläsers der Firma Haß & Co., Hamburg-Bergedorf, hinsichtlich der Kohlenersparnis um 15 vH und der Ergiebigkeit bis 50 vH gesteigert worden.

Der Dieselmotor selbst hat durch die Bauart von Michels (feststehende Zylinder, die auf eine Kurvenbahn wirken und diese im Kreise drehen) eine besonders für Schiffe geeignete gedrungene Form erhalten, deren Bewährung in der Praxis jedoch noch abzuwarten ist[2]). Die neuesten Bestrebungen gehen dahin, den Dieselmotor durch Einschalten eines hydraulischen Zwischengetriebes (Föttinger) für Fahrgastdampfer und Schlepper geeignet zu machen. Im ersten Falle lassen sich auf diesem Wege verschiedene Dieselmotoren verwenden, im zweiten erhält man günstige Bedingungen für den Schleppbetrieb.

Schiffbau Die vom Holzschiffbau übernommene Querspantenbauart hat häufig zu Bedenken Anlaß gegeben und ist in vielen Fällen, besonders bei Tankdampfern und Kriegsschiffen, durch die Längsspantenbauart verdrängt worden. Neuerdings wird eine neue Bauart von Millar vorgeschlagen, die die Vorteile beider Bauarten vereinigen und wesentliche Gewichtersparnisse ermöglichen soll. Eine Verbindung beider Bauarten war übrigens bei deutschen Kriegschiffen Brauch, die im Oberschiff ihrer weitgehenden Unterteilung wegen mit Querspanten und im Unterschiff mit Längsspanten versehen waren.

Im Betriebe wird für die verschiedensten Arbeiten immer mehr die elektrische Lichtbogenschweißung verwandt, so besonders für das Anschweißen der neuerdings viel benutzten Gegenpropeller und für die Herstellung von Ausrüstungsgegenständen, Oberlichten usw. Ja man hat in Deutschland sogar schon ein ganzes Schiff nach einem sehr aussichtsreichen Verfahren geschweißt, wobei die Hauptschweißarbeit auf der Zulage ausgeführt wurde (Verfahren von Strelow, Z. Bd. 66 [1922] S. 1048).

Ersparnisse an Baustoff und Energie Diese technischen Neuerungen haben sämtlich den Zweck, an Baustoff oder an Energie zu sparen, was heute unsre wirtschaftliche Lage vorschreibt. Neuerungen setzen sich daher heute in auffallend kurzer Zeit durch. So werden die lange Jahre unbeachteten Leitschrauben (Gegenpropeller) von Wagner und Haß heute vielfach verwandt. Besonders die Bauart von Haß hat dabei zu einer sehr geschickten Ausführung geführt, die in der Hamburgischen Versuchsanstalt gefunden worden ist.

Diese Anstalt hat jetzt ganz neue Wege bei der Bestimmung der zweckmäßigsten Schraubensteigung beschritten, die zu einer umstürzenden Schraubenform geführt haben. Hatte man bisher einer regelrechten Schraubendruckfläche oder gar einer nach der Nabe zu anwachsenden Steigung dieser Fläche den Vorzug gegeben, so haben die planmäßigen Versuche der genannten Anstalt zu dem Ergebnis geführt, daß mit einer nahezu ebenen Schraubenfläche, bei der also die Steigung nach der Nabe hin abnimmt, Energiegewinne von 6 vH zu erzielen sind. Die neuen Erkenntnisse wurden dadurch gewonnen, daß die Kreisfläche, in der der Propeller am Schiffsmodell arbeitet, in eine Anzahl von Ringflächen geteilt und der mittlere Nachstrom in jeder einzelnen Ringfläche aus der Umlaufzahl von Flügelrädern bestimmt wurde.

Auch das Flettnerruder, dessen große Vorzüge für Schiffe allseits erkannt worden sind, ist im vorigen Jahre weiter verbessert worden, und zwar dadurch, daß man es unterteilt hat und statt einer einzigen drei kleine starr miteinander verbundene Flächen benutzt, von denen nur die mittlere in der bekannten, von Flettner eingeführten Weise gesteuert wird. Die Vorteile dieser Bauart sind eine gedrungene Form, die man so einbauen kann, daß Beschädigungen durch Aufstoßen oder durch seitlichen Wellenschlag sowie ein Austauchen bei Ballastfahrt verhindert und der Schraubenstrom selbst für die Ruderwirkung am besten ausgenutzt werden kann.

Doch nicht nur die Ausbildung des Hinterschiffes hat man weitgehend umgestaltet, auch beim Vorschiff sind Verbesserungen gemacht worden. Hier handelt es sich um einen aus halbrunden Platten gebauten Vorsteven[3]) bei Kriegschiffen anstatt des bei Handelschiffen üblichen Stevens aus Stahlguß bzw. Schmiedeisen. Solch ein gebauter Steven hat nicht die Festigkeit eines gegossenen oder geschmiedeten und läßt erwarten, daß die Beschädigungen beim Rammstoß nicht so umfangreich sind und schnell beseitigt werden können. [M 2079] W. Schmidt.

[1]) V. d. I-Nachrichten vom 31. Mai 1922 S. 240.
[2]) „Dieselmaschinen", Berlin 1923, Verlag des V. d. I.

Elektrisches Nachrichtenwesen.

Die Notwendigkeit gesteigerter Leistungen und des Anknüpfens neuer ausländischer, besonders auch überseeischer Beziehungen erhöht für Deutschland mehr und mehr die Bedeutung des raumüberbrückenden und zeitsparenden elektrischen Nachrichtenwesens. Im Innern äußert sich dies namentlich in der ständigen Zunahme des Fernsprechverkehrs, nach außen in der erheblichen Steigerung des Funkverkehrs.

Fernsprechtechnik Die Einführung des selbsttätigen Fernsprech-Vermittelungsbetriebes, der sich wirtschaftlich und verkehrstechnisch gut bewährt, macht weitere Fortschritte. In mehreren kleineren Ortsfernsprechnetzen werden selbsttätige Fernsprechämter in Betrieb genommen, in Leipzig eines der größten der Welt mit rd. 30 000 Teilnehmern bei einem Gesamtfassungsvermögen von 100 000 Teilnehmern. Bei dem in Weilheim (Bayern) neu eingerichteten Selbstanschlußamt wird zum ersten Male auch der Fernverkehr teilweise in den selbsttätigen Betrieb mit einbezogen.

Die Einrichtungen für den Fernsprechweitverkehr (Kabel mit Pupinspulen und Verstärkern) werden weiter ausgebaut. Sie erhalten eine erhöhte Bedeutung durch die im März in Paris zusammengetretene „internationale" Telephonkonferenz (ohne Zuziehung Deutschlands!), die sich mit den Möglichkeiten eines alleuropäischen Fernsprechverkehrs beschäftigt.

Neue Großfunkstellen In Kootwijk [Holland][4]) und in Montegrande bei Buenos-Aires werden von Telefunken erbaute neue Großfunkstellen in Betrieb genommen. Die zu diesem Zweck wesentlich erweiterte Sende- und Antennenanlage in Nauen nimmt den Verkehr mit Montegrande auf. Die Firma C. Lorenz A.-G. errichtet eine Großfunkstelle[5]) für Versuchzwecke nahe dem Herzogstand (Oberbayern), die aus dem Walchensee-Kraftwerk mit Energie versorgt wird.

Drahtloses Fernsprechen Der Unterhaltungs-Rundfunkverkehr ist vom Reichspostministerium innerhalb gewisser Grenzen freigegeben worden. Zahlreiche Firmen nehmen die Herstellung von Empfangsgerät nach den bekanntgegebenen Bedingungen auf. Der Berliner Rundfunkverkehr im Vox-Hause begann am 29. Oktober 1923 mit dem regelmäßigen Sendebetrieb.

Die Versuche, nach und vom fahrenden Eisenbahnzuge mit leitungsgerichteten Wellen zu telephonieren, werden seitens der Firma Huth auf der Bahnstrecke Berlin-Hamburg mit gutem Erfolge fortgesetzt und erweitert.

Der sprechende Film Die Einrichtungen von Vogt, Engl und Massolle, die sich mehrerer auch in der Funktelegraphie gebräuchlicher Geräte (Kathodenröhren-Verstärker, Lautsprecher) bedienen, werden wesentlich verbessert und weiteren Kreisen mit recht gutem Erfolge vorgeführt.

Schiffahrt Einige große Schnelldampfer werden außer mit dem seit Jahren gebräuchlichen Gerät für drahtlose Telegraphie mit gedämpften Wellen auch mit Kathodenröhrensendern und -empfängern ausgerüstet und mit Einrichtungen für drahtloses Fernsprechen versehen. Die Funktechnik gelangt ferner in immer steigendem Maße für Peilzwecke zur Verwendung. Telefunken führt einen neuen Radiokompaß an Bord eines Vermessungsschiffes der Marine mit bestem Erfolge vor.

Die Verwendung von Leitkabeln, die in Hafeneinfahrten ausgelegt werden und Wechselstrom führen, mit dessen Hilfe die Schiffe gesteuert werden, bewährt sich. Für die gleichfalls der Schiffsteuerung dienenden Unterwasserschallsignale (Signalgesellschaft Kiel), deren Aussendung und Empfang auf elektrischem Weg erfolgt, werden neue, besonders brauchbare Geräte gebaut, die auf zahlreichen deutschen Schiffen eingeführt werden. [2044] C. W. Kollatz.

(Schluß folgt).

[3]) Z. Bd. 68 (1924) S. 11.
[4]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1088. [5]) VDI-Nachrichten Nr. 15a vom 11. März 1923.

RUNDSCHAU.

Dampfkraftanlagen.

Bahnkraftwerke und Dampfspeicher.

Der Wirkungsgrad der Dampfkraftwerke für Straßenbahnen und Vollbahnen ist ganz besonders ungünstig infolge der stark schwankenden Belastung. Abb. 1 zeigt die Belastung eines solchen Werkes während eines Betriebstages. Die Spitzen können leicht das 2,5fache der mittleren Belastung ausmachen. Ein Aufspeichern elektrischer Energie ist nur bei Gleichstromwerken möglich, und die Verluste im Speicher einschließlich der Zusatzmaschine sind erfahrungsgemäß sehr hoch (bis zu 35 vH). Für solche Werke erscheint deshalb, wie K. Mayr in der Siemens-Zeitschrift Bd. 3 vom Juni 1923 ausführt, der Dampfspeicher, Bauart Dr. Ruths[1]), besonders vorteilhaft.

Abb. 2 zeigt das Schema der Einordnung eines Dampfspeichers bei Dampfturbinenbetrieb. Die Kessel erzeugen gleichmäßig die der mittleren Maschinenleistung entsprechende Dampfmenge. Bei kleinerer Belastung strömt der nicht verbrauchte Dampf durch das Überströmventil *Ü. V.* nach dem Speicher. Dieser öffnet sich, sobald der Druck in der Frischdampfleitung über diesen zulässigen Höchstdruck steigen würde. Bei höheren Belastungen wird dagegen Dampf aus dem Speicher entnommen. Der Dampf wird der Turbine durch zwei Düsensätze zugeführt, von denen der eine an die Frischdampfleitung, der andre an den Speicher angeschlossen ist. Um den Speicher möglichst weit entladen zu können, kann außerdem noch ein Anschluß an eine oder an zwei tiefere Druckstufen vorgesehen werden.

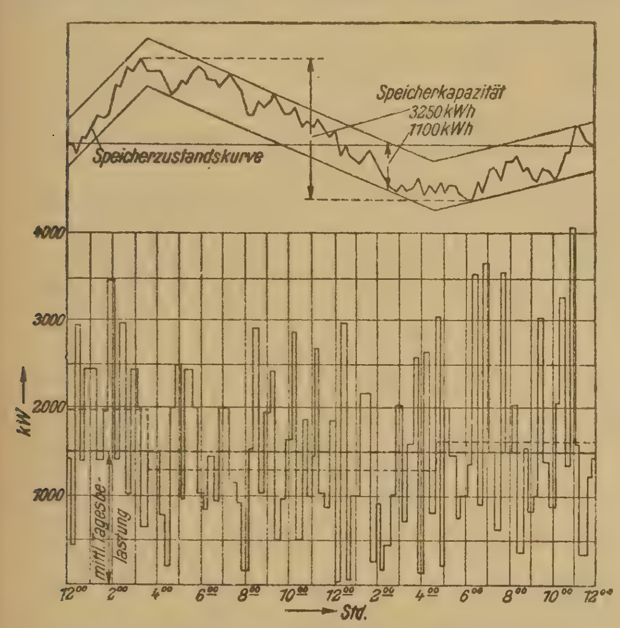


Abb. 1. Belastung eines Bahnkraftwerkes während eines normalen Betriebstages.

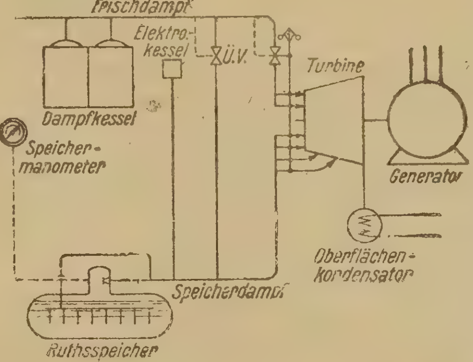


Abb. 2. Schaltbild einer Hochdruckspeicheranlage.

Die Turbine unterscheidet sich von der gewöhnlichen Turbine mit Überlastungsventil bzw. von einer Zweidruckturbine mit Überlastungsleitung nur durch etwas größere Abmessungen (einschließlich der Kondensation) und eine Trennung des Düsensatzes vor dem ersten Laufrad in zwei Teile. In den meisten Fällen ist es leicht möglich, vorhandene Turbinen für den Speicherbetrieb umzubauen. Der Speicher ermöglicht nicht nur die gleichmäßige Belastung der Kessel, sondern kann auch Dampf abgeben, bevor die Kessel betriebsbereit sind, falls die Dampfkraftanlage etwa als Ergänzung eines Wasserkraftwerkes bloß als Aushilfe betrieben wird. Damit die Anlage dauernd betriebsbereit ist, dient ein kleiner Dampfkessel (Elektrokessel) zum Ersatz der unvermeidlichen, wenn auch sehr geringen Wärmeverluste des Speichers.

Die Anlage für ein Kraftwerk mit der Belastung nach Abb. 1 erfordert zunächst einen Turbosatz von mindestens 4000 kW Leistung. Der Dampf vor der Turbine habe 15 at und 350 ° C. Wäre ein vollkommener Ausgleich mit elektrischem Speicher möglich, so brauchte nur ein 1500 kW-Turbosatz aufgestellt zu werden. Der spezifische Dampfverbrauch wäre aber bei Vollast fast ebenso groß, wie der des 4000 kW-Satzes zwischen ¾ und ½ Last, und es würde an laufenden Betriebskosten infolge des schlechteren Wirkungsgrades des kleineren Maschinensatzes fast nichts gespart. Wird ein Dampfspeicher aufgestellt, dessen Höchstdruck gleich dem Kesseldruck ist, und der so groß ist, daß im Kesselhaus gleichmäßig nur die der mittleren Leistung von 1500 kW entsprechende Dampfmenge erzeugt und der Speicher ohne Überhitzerspeicher ausgeführt wird, so stellt sich der mittlere Druck im Speicher auf 10 at ein. Ferner sei angenommen, daß der niedrigste Druck im Speicher 7 at beträgt, so daß also die Turbine bei Zusatz von Sattdampf von 7 at noch die volle Leistung abgeben kann. Die Dampferzeugung wird theoretisch zwar etwa 8 bis 10 vH, praktisch aber kaum größer als bei reinem Frischdampfbetrieb.

Beim Betrieb ohne Speicher wären mindestens zwei Kessel mit je 300 m² Heizfläche vorzusehen, die nur während sieben Stunden des Tages bei gutem Wirkungsgrad arbeiten. Die Belastungen werden aber in Zeitabständen von zehn Minuten von fast vollkommenen Entlastungen unterbrochen. Diese kurzen Schwankungen werden auch bei Hochleistungskesseln mit kleinen Wasserräumen in der Regel noch ohne bedeutende Druckschwankungen vertragen. Bei längerer Dauer muß die Feuerung entsprechend eingestellt werden, wobei Druck- und Temperaturschwankungen und damit Veränderungen des Dampfverbrauchs nicht zu vermeiden sind. Ein erfolgreiches Regeln des Feuers ist nur dann möglich, wenn die einzelnen Belastungen mindestens 20 min lang einigermaßen gleich bleiben. Der Brennstoff kann nur mangelhaft ausgenutzt werden. Ist doch in Bahnkraftwerken ein Wärmeverbrauch bis zu 15 000 kgcal/kWh festgestellt worden. Der Kesselwirkungsgrad kann bei stark schwankender Belastung 12 bis 15 vH schlechter sein als bei gleichmäßiger Belastung[2]). Ohne Speicher würde der tägliche Wärmeverbrauch sich zu 277 200 000 kgcal berechnen, entsprechend 7700 kgcal/kWh bei 36 000 kWh täglich.

Bei einem Speicher für vollkommenen Ausgleich sind gleichmäßig 10 500 kg/h zu erzeugen. Dafür genügt ein Kessel von 400 m² Heizfläche bei 26,2 kg/m² Belastung und einem Wirkungsgrad von 79 vH. Der Wärmeverbrauch beträgt dann 234 200 000 kgcal oder 6520 kgcal/kWh. An Brennstoff würden 15,4 vH erspart. Der Speicher muß 19 600 kg Dampf abgeben können und wird deshalb unverhältnismäßig groß und teuer. Es genügt aber, wenn er so ausgleicht, daß während 3½ h gleichmäßig 12 000 kg/h Dampf, während 6 h gleichmäßig 11 500 kg/h und während 14½ h gleichmäßig 9800 kg/h zu erzeugen sind. Dann braucht er nur 9000 kg Dampf zu speichern. Der Kessel arbeitet mit 76, 79 und 80 vH Wirkungsgrad und 30,0, 26,3 und 24,5 kg/m² Belastung. Rechnet man für Wärmeverluste des Speichers 37 800 kgcal/h, so beträgt der tägliche Gesamtwärmeverbrauch 235 107 200 kgcal, also 15,2 vH weniger als beim Betrieb ohne Speicher.

Der Preis eines solchen Speichers von 160 m³ Inhalt entspricht etwa dem Preis eines Steilrohrkessels von 150 m² Heizfläche einschließlich Rauchgasvorwärmers und Überhitzers. Die Kosten einer Anlage von drei Kesseln mit je 200 m² Heizfläche mit Ruthsspeicher von 160 m³ sind rd. 16 vH kleiner als für 3 Kessel mit je 300 m² ohne Speicher. Die mittelbaren jährlichen Ausgaben stellen sich mit Berücksichtigung der Gebäudekosten um rd. 10 vH geringer als bei der Anlage ohne Speicher. Dabei ist noch zu beachten, daß die Ausbesserungen an der Kesselanlage wegen des Fortfalls der Überlastung der Kessel erheblich vermindert werden und der Betrieb vereinfacht wird. [R 1981] Fr.

Dampfkessel für hohe Drücke.

Die Bestrebungen, die Betriebsdrücke neuzeitlicher Dampfkesselanlagen über 50 at und mehr zu steigern, haben insofern auch auf den landläufigen Dampfkesselbau zurückgewirkt, als man auch dort versucht, wesentlich höhere als die bisherigen Arbeitsdrücke zu verwenden. Wie wir den Hanomag-Nachrichten von November 1923 entnehmen, sind z. B. dort gegenwärtig 12 Kessel von je 600 m² Heizfläche für 32 at Überdruck für eine große chemische Fabrik im Bau. Diese Kessel werden in der üblichen Bauart der Steilrohrkessel hergestellt, jedoch mit dem Unterschied, daß die oberen Trommeln geschweißt, die unteren dagegen nahtlos geschmiedet und innen und außen abgedreht werden. Solche Trommeln lassen sich im Gegensatz zu nahtlos gewalzten auch in großen Längen herstellen. Für Drücke über 50 at schlägt die Hanomag Trommeln vor, deren Böden durch Kümpeln der Trommelenden ohne jede Nietung hergestellt werden. [M 2103]

Entgasung des Kesselspeisewassers.

Daß eine neuzeitliche Reinigung von Kesselspeisewasser nicht nur die bekannten Kesselsteinbildner, sondern auch die in Frischwasser stets vorhandenen Gase: Luft, Kohlensäure und Sauerstoff, entfernen muß, ist heute ziemlich allgemein geläufig. Auch wenn keine besonderen Anlagen zum Entgasen des Speisewassers aufgestellt werden, soll jeder Betriebsleiter darauf achten, daß das Speisewasser nicht unnötig der freien Luft ausgesetzt und dadurch mit den Gasen angereichert wird, die schädliche Anfressungen der Kesselbleche hervorrufen können. Ein neueres, anscheinend sehr einfaches Verfahren zum Unschädlichmachen des Gasgehaltes des Kesselspeisewassers wird von der A.-G. für Stickstoffdünger in Köln in Vorschlag gebracht. Das Verfahren besteht darin, Stickstoffgas in genügender Menge fein verteilt durch das Speisewasser hindurch zu blasen. Das Gas vermischt sich hierbei mit

[1]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 62.

[2]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) Nr. 21, 22 und 23.

den übrigen im Wasser gelösten Gasen und führt diese beim Entweichen mit, so daß nur unschädliche Reste dieser Gase im Wasser zurückbleiben. Stickstoffgas ist in chemischen Fabriken häufig als Abfallstoff reichlich vorhanden. Da man aber das zur Durchführung des Verfahrens erforderliche Stickstoffgas leicht reinigen und immer wieder verwenden kann, so könnte sich das Verfahren auch für andere Kesselanlagen eignen. [M 2104]

Wasserkraftanlagen.

Neue Richtlinien für den Ausbau und die Ausnutzung der Wasserkräfte Deutschlands

Der Wasserwirtschaftliche Ausschuß des Vorläufigen Reichswirtschaftsrates hat nach eingehenden Beratungen über den Ausbau und die Ausnutzung der Wasserkräfte Deutschlands Anträge und Leitsätze aufgestellt, die der nächsten Vollsitzung zur Beschlußfassung unterbreitet werden sollen.

Zu dem Antrage der Arbeitnehmer betreffend Sozialisierung und gemeinwirtschaftliche Behandlung der Wasserkräfte beschloß man, zurzeit keine Sozialisierung der Wasserkräfte zu empfehlen, dagegen wurde in Erwägung gezogen, welche Grundsätze man aufzustellen habe im Sinn einer einheitlichen Wasserwirtschaft. Die Anträge, die dem Vorläufigen Reichswirtschaftsrat zur Beschlußfassung vorgelegt werden sollen, lauten:

Die Reichsregierung wird ersucht, dahin zu wirken:

1. daß der Ausbau der noch ausbauwürdigen Wasserkräfte Deutschlands mit möglichster Beschleunigung planmäßig und möglichst nach einheitlichen Gesichtspunkten erfolgt,
2. daß im ganzen Reiche die Verleihung von Wasserkräften nicht auf unbegrenzte Zeit und wenigstens grundsätzlich nicht ohne entsprechende Wasserzinsleistung erfolgt; der Wasserzins ist nicht nach steuerlichen, sondern nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bemessen und zu verwenden,
3. daß der Ausbau vom Standpunkt des Gemeinwohles aus erfolgt, und daß die Beachtung dieses Grundsatzes auch bei den bereits ausgebauten Wasserkräften gesichert wird.

Aus den Leitsätzen zur Durchführung dieser Anträge ist folgendes hervorzuheben: Für den Ausbau der Wasserkräfte der Reichswasserstraßen ist das Reich zuständig; der Ausbau der Wasserkräfte in Flußgebieten innerhalb der Grenzen der einzelnen Länder untersteht den Anordnungen des beteiligten Landes; für Flußgebiete, die sich über mehrere Länder erstrecken, haben sich diese vorher zu verständigen, andernfalls ist die schiedsrichterliche Entscheidung des Reiches anzurufen. Für alle deutschen Stromgebiete sind einheitliche Wasserkraftpläne auszuarbeiten. Liegen mehrere Ausbaupläne vor, so ist demjenigen der Vorrang zu geben, der dem öffentlichen Wohl in größerem Maße dient.

Das Recht zur Ausnutzung einer Wasserkraft wird begründet durch staatliche Verleihung. Der Staat hat das Recht, wegen überwiegender Nachteile oder Gefahren für das Gemeinwohl die Verleihung abzulehnen. Das Verleihungsverfahren soll möglichst einfach gestaltet werden. Die Verleihung soll nur an Inländer erfolgen. Bei juristischen Personen sollen mindestens zwei Drittel der Vorstand- und Aufsichtsratmitglieder deutsche Staatsangehörige sein.

Stehen der Ausnutzung private Interessen entgegen, so soll die Möglichkeit vorhanden sein, diese Hindernisse durch gesetzliche Zwangsverpflichtung gegen Entschädigung zu beseitigen. Die Verleihung ist zeitlich zu begrenzen und soll in der Regel nicht länger als 70 Jahre dauern. Bei Neuverleihungen soll der frühere Besitzer ein Vorrecht vor andern Bewerbern haben.

Der Wasserzins soll nur für wasserwirtschaftliche Zwecke verwendet werden. Grundeigentümer, die von einem öffentlichen Unternehmen Vorteile haben, sollen als Entgelt hierfür entsprechende Beiträge zu den Kosten leisten. Bei Werken mit Überlandversorgung können sich Reich und Staat das Recht vorbehalten, sich elektrische Energie zunächst für eigene Zwecke zu sichern. Wenn der Reingewinn eine gewisse Höhe erreicht, müssen Reich und Länder die Möglichkeit haben, auf eine Ermäßigung des Tarifes zu dringen. Für gemeinnützige Elektrizitätswerke darf der Staat gegen angemessene Entschädigung Staurechte in Anspruch nehmen. Stauanlagen dürfen nur mit staatlicher Genehmigung beseitigt oder außer Betrieb gesetzt werden. („Deutsche Wasserwirtschaft" 20. Oktober 1923) [M 2075] Sd.

Elektrische Maschinen.

Magnetische Nutenkeile für Asynchronmotoren.

Wie wir der Zeitschrift „Elektrischer Betrieb" vom 10. September 1923 entnehmen, ist von der Firma Sachsenwerk Licht- und Kraft-A.-G., Niedersedlitz-Dresden, ein magnetischer Nutenkeil entworfen worden, durch den die Verwendung von Einlagespulen ermöglicht wird, ohne daß man die Nachteile offener Nuten mit in Kauf nehmen muß.

Der Keil, Abb. 3, hat trapezförmige Gestalt und besteht aus drei Teilen. Die beiden Seitenteile sind aus Eisenblechstreifen von 0,5 mm Dicke, die parallel zur Längsachse des Keiles geschichtet sind, zusammengesetzt. Ein auf ihrer Innenseite angeordnetes Bronzeblech mit spitzwinklig abgebogenem Ansatz ist mit den Eisenblechstreifen der Seitenteile fest vernietet. Das Mittelstück des Keiles ist ein Fiberkeil mit trapezförmigem Querschnitt. Der ganze Keil ist gegen die Seitenflächen der Zähne durch Preßspan oder Leatheroidstreifen isoliert.

Nach dem Einbiegen der Spulen in die Nuten werden die Keile eingesetzt, wobei die beiden Eisenteile an die durch Isolationsstreifen geschützten schrägen Seitenflächen der Nuten gelegt und durch den eingetriebenen Mittelkeil auseinandergepreßt werden. Die spitzwinklig abgebogenen Ansätze der Seitenkeile legen sich gegen die Breitseiten der Fiberkeile, so daß ein Heraustreten des Keiles, selbst bei Lockerung, nicht möglich ist. Um einen dauernd festen Sitz zu verbürgen, trocknet man das verwendete Fiber im luftleeren Raum bei hoher Temperatur und tränkt es dann mit Paraffin.

Abb. 4 zeigt den Kraftlinienverlauf zwischen Ständer und Läufer mit Holzkeil, Abb. 5 mit magnetischem Keil. Man ersieht hieraus den günstigen Einfluß des magnetischen Keiles auf das Feld. Auch Wir-

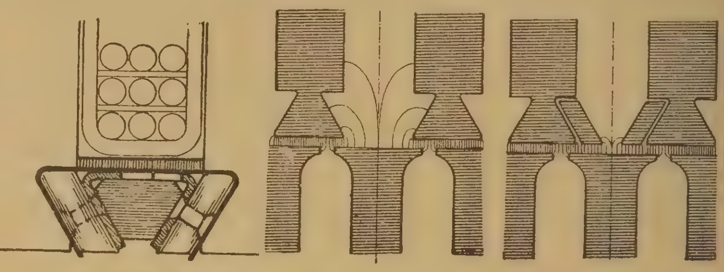


Abb. 3. Magnetischer Nutenkeil. Abb. 4. Läuferzahn vor Ständernut mit Holzkeil. Abb. 5. Läuferzahn vor Ständernut mit magnetischem Keil.

kungsgrad und Leistungsfaktor wurden gegenüber Motoren mit ganz offenen Nuten und Holzkeilen, wie Versuche ergaben, verbessert. Bei einer Drehstromdynamo für 3000 kVA, 5250 V und 3000 Uml./min wurde der Erregerstrom um 15 vH und die Eisenverluste um rd. 10 vH vermindert. Ein geringer Nachteil liegt bei der Konstruktion wohl darin, daß die Bleche der Seitenkeile in Richtung der Nuten liegen, wodurch wenn auch nur schwache Wirbelströme in ihnen erzeugt werden. Dagegen wird die Kurvenform der Wechselspannung vorteilhaft beeinflußt. [R 1950] Sd.

Hebezeuge.

Drehkrane mit verlängerbarem Ausleger.

In „Engineering" Bd. 115 vom 29. Juni 1923 wird eine Ausnahmekonstruktion eines Auslegerkranes beschrieben, bei dem der Ausleger noch einmal unterteilt ist. Das senkrecht drehbare Endstück wird durch Seile zwangläufig geführt, und zwar derart, daß beim Ein- und Ausschwenken des Hauptauslegers die Rolle am Ende des Endstückes nahezu die gleiche wagerechte Lage beibehält. Die Last wird also beim Einschwenken nicht gehoben, so daß an Arbeit gespart und ein schneller Betrieb ermöglicht wird. Die gleiche Anordnung wird auch bereits für Bootsdavits benutzt.



Abb. 6. Auslegerkran mit Kletterkatze der Demag.

Bei näherer Betrachtung ist zu der englischen Ausführung folgendes zu bemerken: Das drehbare Auslegerende wird nur durch Seile geführt; das ist mit Rücksicht auf plötzlich auftretende Windstöße zweifellos ein Nachteil. Dieser Nachteil ist bei einer Ausführung der Deutschen Maschinenfabrik A.-G., Duisburg, dadurch vermieden, daß statt des storchschnabelartigen Auslegerendes eine Kletterkatze *a* benutzt wird, Abb. 6. Die Kurvenbahn, die bei dem englischen Kran am Auslegerende sitzt, ist hier bei *b* an den Ausleger *c* verlegt und damit festgelagert worden. Das ist ein weiterer Vorteil gegenüber dem englischen Kran. Mit ähnlichen Konstruktionen wie den englischen ist schon viel Spielerei getrieben worden; unter besonderen Umständen können derartige Krane jedoch mit Vorteil angewandt werden, wenn sie widerstandsfähig gebaut sind. [R 1963] Dr. Sch.

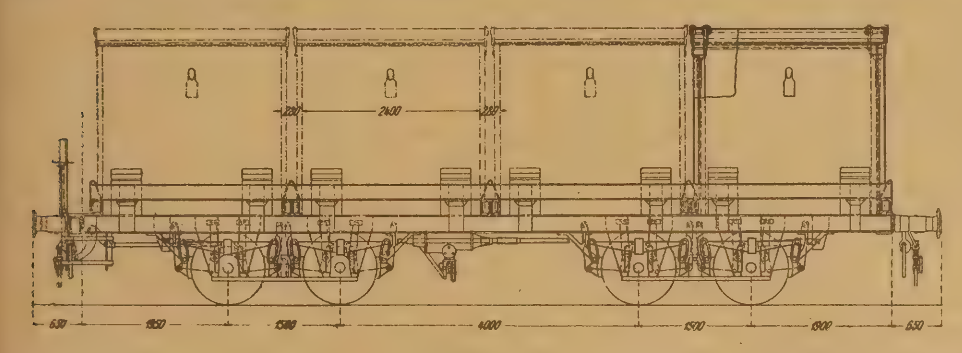
Eisenbahnwesen.

Fortschritte im Bau von Kübelwagen.

In neuester Zeit sind von der Reichseisenbahn Großgüterwagen mit einer Achsbelastung bis zu 20 t in Betrieb genommen worden[1]). Diese neue Entwicklung im Güterwagenverkehr hat nun dazu geführt, die bisher nur im Privatbetrieb gebrauchten Kübelwagen so umzugestalten, daß sie als Großgüterwagen für den Betrieb auf der Reichsbahn verwendet werden können.

Schon die bisher auf den Zechen und Hütten des Ruhrgebietes gebrauchten Kübelwagen sind Großgüterwagen, da die beförderte Nutzlast bis zu 40 t betragen kann. Bei den am meisten gebräuchlichen 32 t-Wagen ist das Verhältnis von Totlast und Nutzlast nicht sehr günstig, auch der Raddruck war trotz der verwendeten großen Schienenprofile sehr niedrig; er betrug nur 6,5 t. Trotzdem wurde der 32 t-Wagen im Ruhrbezirk besonders im Verkehr zwischen Zeche und Wasserstraße viel benutzt, weil das Verladen der Kohlen mittels Kranes und Kübels sehr einfach und dem Verladen durch Kipper besonders wegen der schonenden Behandlung des Frachtgutes überlegen ist.

Einen neuen 50 t-Wagen der Waggonfabrik Uerdingen mit vier Kübeln von je 16 m³ Inhalt zeigen Abb. 7 und 8. Seine gesamte Ladefähigkeit beträgt 50 t Kohle oder 40 t Koks bei geringer Überladung. Das sehr einfache Untergestell ruht auf zwei Drehgestellen zu je zwei Achsen. Alle Bauteile sind leicht zugänglich. Das Gewicht eines



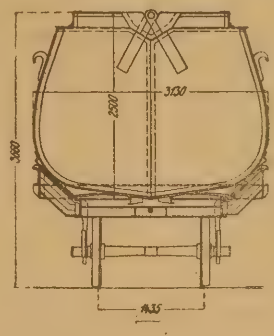


Abb. 7 und 8. Großkübelwagen der Waggonfabrik Uerdingen.

Kübels beträgt rd. 2,4 t, das des Wagens mit Hand- und Kunze-Knorr-Bremse ohne Kübel rd. 14 t. Die Wagen sind über die Puffer 12,15 m lang, die Länge entspricht damit ungefähr der des Großgüterwagens der Uerdinger Bauart. Die Belastung der Achsen stellt sich auf 18,4 t.

Die Luftdruckbremse bremst sämtliche vier Achsen mit 16 Bremsklötzen. Bei einfachen Verschiebebewegungen wird eine Handspindelbremse mit acht Klötzen betätigt. Schwere Puffer mit Uerdinger Ringfeder schwächen die Stöße bei Verschiebebewegungen ab.

Die mit besonderer Sorgfalt ausgeführte Lagerung zeigt Abb. 9. Der Kübel sitzt hier ohne Bodenabstützung zwischen zwei unter 45° geneigten Flächen, die jede Verschiebung und jede Öffnung des Kübels während der Fahrt verhindern. Querträger, die die Längsträger durch die Kübellücken miteinander verbinden, schützen den Kübel gegen Verschiebungen in der Fahrtrichtung. Hierdurch sind die bisher im Innern der beiden Kübelhälften verwendeten Winkeleisen, Zugbänder und Stehbleche überflüssig und werden durch außen angebrachte Verstärkungsträger ersetzt. Diese sind den zersetzenden Angriffen der Kohle entzogen. Das bei den meisten Ruhrzechen noch vorhandene Zechenprofil (obere Begrenzungslinie 3,28 m über S.-O.), zwang bei den alten Wagen dazu, dem Kübel eine verhältnismäßig geringe Höhe zu geben. Die oben auf den Kübeln sitzenden Hubhaken und Ösen sind beim Großkübelwagen weggelassen, als Angriffpunkte für die Kranhaken sind die Gelenkbolzen der Kübel gewählt. Hierdurch konnte eine Höhe von 3,7 m über Schienenoberkante für die Gefäße innegehalten werden. Der Kübelinhalt wird dadurch um fast 80 vH vermehrt.

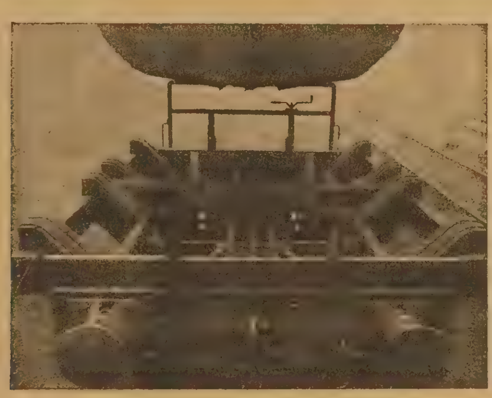


Abb. 9. Lagerung der Kübel auf dem Wagenuntergestell.

Da bei Kübeln mit flachen Böden die Bodenbleche einem erheblichen Verschleiß ausgesetzt sind, macht man jetzt den Kübelboden kielförmig und baut auf etwa 50 bis 70 cm Breite Bleche von 10 mm Dicke ein. Die schräg nach unten gerichtete Bodenform verhindert ein Festsetzen von nassen und leicht backenden Kohlen und ermöglicht bei den sich steiler einstellenden Bodenflächen eine schnellere Entleerung.

Außer der Bauart mit vier Kübeln werden noch Wagen mit fünf Kübeln von je 7,5 bis 8 t Tragfähigkeit hergestellt. Die Länge ist die gleiche wie beim 50 t-Wagen, die gesamte Tragfähigkeit beträgt aber nur 40 t. („Glückauf" vom 24. März 1923) [R 1960] Sd.

[1]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 886.

Wirtschaft.

Der deutsche Maschinenbau im Dezember 1923.

(Monatsbericht des Vereines Deutscher Maschinenbauanstalten.)

Der letzte Monat des Jahres 1923 änderte die bedrängte wirtschaftliche Lage wenig. Die mit der Außenpolitik eng verflochtenen Währungsfragen standen noch im Mittelpunkt der Sorgen. Zunächst lähmte die Zahlungsmittelknappheit und die langsame Herausgabe der Rentenmark besonders im südlichen Deutschland den Geldverkehr. Später schob sich die Kapitalnot in den Vordergrund. Da die Kundschaft mit Aufträgen und Zahlungen zurückhielt, war die Maschinenindustrie vielfach gezwungen, äußerst bedenkliche, hochzuverzinsende Bankkredite in Anspruch zu nehmen. Infolge der geringen Beschäftigung herrschte Überfluß an Arbeitskräften. Die Löhne und Gehälter hatten infolge des festen Standes der Währung ihren Höhepunkt erreicht und konnten verschiedentlich gesenkt werden. In einigen Fällen herrschte immer noch Mangel an Rohstoffen, insbesondere an Walzeisen; auch die Kohlen- und Koksversorgung ist zum Teil als unzulänglich anzusehen.

Der Abbau der Rohstoffpreise war noch längst nicht weit genug durchgeführt, um die Selbstkosten der Maschinenindustrie so zu vermindern, wie dies nötig wäre, um den Absatz zu beleben und den Wettbewerb mit dem Auslande wieder aufnehmen zu können. Von großer Wichtigkeit für die Selbstkosten ist auch die Höhe der Eisenbahnfrachten geworden. Der Wegfall der Sonder- und Ausfuhrtarife wirkt auf die Maschinenindustrie immer ungünstiger. Die Maschinenausfuhr, der wegen des Devisenerlöses und der unbedingten Notwendigkeit einer Besserung unsrer Zahlungsbilanz größte Wichtigkeit zukommt, könnte durch eine Ermäßigung der Frachtsätze sehr gefördert werden. Als Beispiel sei erwähnt, daß die Frachten für landwirtschaftliche Maschinen von Mitteldeutschland (Leipzig) bis Passau, Kufstein und zur holländischen Grenze auf das 3fache, bis Hamburg für gewöhnliche Sendungen auf das 3,2fache, für Überseegüter auf das 6fache der Vorkriegsbeträge in Goldmark gestiegen sind.

Anfragen des In- und Auslandes nach Maschinen liefen durchweg nur ungenügend ein, bei einem beträchtlichen Teil der Firmen war die Nachfrage noch schlechter als im Vormonat. Nur von wenigen Seiten werden schwache Anzeichen für eine Besserung des Interesses der Abnehmer gemeldet. Der Auftrageingang war jedoch gänzlich unzureichend, so daß die Verkürzungen der Arbeitszeit zum größten Teil beibehalten werden mußten und weitere Arbeiterentlassungen notwendig waren. Zu den besonderen Wünschen des Maschinenbaues gehört die Regelung der Wiederherstellungslieferungen und der Abgabe von 26 vH für Lieferungen nach England, für die das Reich keine Zahlungen mehr leistet.

Im besetzten Gebiet hatte sich trotz Einstellung des passiven Widerstandes die traurige Lage der meisten Firmen nicht gebessert. Nur etwa ein Viertel der Belegschaften dürfte zumeist in verkürzter Arbeitszeit noch beschäftigt sein. Die Ausfuhr war durch hohe Abgaben und die Forderung der Besatzung, daß der volle Wert der ausgeführten Maschinen bis zur Ankunft im Bestimmungslande hinterlegt werden mußte, stark behindert. Ablaufbewilligungen nach dem unbesetzten Gebiet wurden garnicht oder nur unter größten Schwierigkeiten erteilt. Der Verkehr auf den Regiebahnen war ganz ungenügend. Ob Erleichterungen zustande kommen, ist wegen der Forderungen der Franzosen, insbesondere auf Verpflichtung zu kostenlosen Reparationslieferungen, sehr fraglich. [M 17]

Berichtigung. Zum Bericht über die 20te Betriebstechnische Wanderausstellung in Berlin, Z. Bd. 67 (1923) S. 1069 ist nachzutragen, daß als einziger Rauchgasprüfer der von H. Maihak A.-G., Hamburg, hergestellte Rauchgasprüfer Duplex-Mono ausgestellt war. [M 20]

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Enzyklopädie der Mechanik. Von Prof. Dr. techn. A. Lechner. Wien 1923, L. W. Seidel & Sohn. 352 Seiten mit 318 Figuren.

Zweifellos wird das vorliegende, für eine Enzyklopädie ziemlich schmale Werk einen großen Erfolg haben. Es setzt da den Hebel an, wo er schließlich einmal angesetzt werden muß, wenn der Ingenieur auch auf seinem weitverzweigten Gebiet zu einer Allgemeinbildung kommen soll. Das Werk ist zwar für Studierende der Technischen Hochschulen und Universitäten gedacht und soll diesen einen Einblick in die Gebiete der analytischen Mechanik, Elastizitäts- und Festigkeitslehre sowie der Hydrodynamik gewähren, um sie zu einem erfolgreichen Studium in der Mechanik anzuregen; aber auch der im Beruf stehende Ingenieur wird sich gern in dieses Werk vertiefen, da er hier die Kernfragen der Mechanik klar erläutert findet, wobei auch die sonst oft vernachlässigte Geschichte der Mechanik zu ihrem vollen Recht kommt. Die Großtaten der einzelnen Forscher werden kritisch beleuchtet, dabei wird aber das wissenschaftliche Experiment als Schlüssel der Naturerkenntnis und als Grundlage für den Unterricht angesehen.

Das Werk enthält 26 Abschnitte, die im einzelnen an dieser Stelle nicht genannt werden können. Behandelt werden die Statik, Dynamik und Kinematik. Zum Schluß wird auf die Relativitätstheorie kurz eingegangen. Man vermißt einen kurzen Hinweis auf die Arbeiten von Kutta, Joukowsky und Reynolds, die heute für das Flugwesen und die Versuche auf diesem Gebiete von besonderem Werte sind.

[B 2074] Dr. W. Schmidt.

Lehrbuch der Physik. Von E. Grimsehl. 6. Aufl. 1. Band: Mechanik, Wärmelehre, Akustik und Optik. Herausgegeben von Prof. Dr. W. Hillers und Prof. Dr. H. Starke. Leipzig und Berlin 1923, B. G. Teubner. 1142 S. mit 1090 Abb. und 2 farbigen Tafeln. Preis Gz. 16,7, geb. 18,9.

Ein Werk aus einem Guß, das war das Grimsehlsche Lehrbuch von Anfang an. Es hat schnell eine große Verbreitung gefunden, da es dem Lernenden in kurzer Zeit einen Überblick über das Gebiet der Physik ermöglicht. Nach dem Heldentod des Verfassers haben sich Herausgeber und Mitarbeiter um den zeitgemäßen Ausbau des Werkes bemüht. Das Werk schwillt dabei leider immer mehr an, so sind in der vorliegenden Auflage allein acht Bogen hinzugekommen. Sie behandeln besonders die neuzeitigen Anschauungen über den Bewegungswiderstand in Flüssigkeiten und Luft. Außerdem sind eine ganze Reihe Änderungen und Erweiterungen vorgenommen worden. Eine ausführliche Besprechung des Werkes haben wir in Z. Bd. 61 (1917) S. 76 gebracht.

Untersuchungen über das Wärmeisolierungsvermögen von Baukonstruktionen. Von H. Kreüger und A. Eriksson. Aus dem Schwedischen übersetzt von H. Frhr. Grote. Berlin 1923, Jul. Springer. 69 Seiten mit 55 Abbildungen. Preis geh. Gz. 1,40.

In dem Büchlein wird über Einrichtung und Verwendung einer der Technischen Hochschule Stockholm angegliederten Versuchsanlage berichtet, zu der die Mittel von der schwedischen Akademie für Ingenieurwissenschaften bereitgestellt worden sind. Die Anlage besteht aus einem Versuchshäuschen mit einer in seinem Innern liegenden Kammer mit drei auswechselbaren Wänden. An die einzusetzenden Versuchswände wird von außen ein nach der Wand zu offener Kasten mit elektrischer Innenheizung und -lüftung angelegt, dessen Temperatur gleich der des Außenraumes einreguliert wird. Die gesamte im Kasten erzeugte Wärme geht dann durch die von ihm bedeckte Wandfläche in die innere Kammer, die durch eine Kälteanlage gekühlt wird. Schwierigkeiten liegen in der Temperaturverteilung der Innen- und Außenluft und, wenn die Ventilatorflügel im Innern des Kastens laufen, in der Größe der Wärmeübergangszahl, die von der für praktisch ruhende Luft abweicht. Infolge dieser Schwierigkeiten sind die zahlreichen in der Schrift mitgeteilten Versuchsergebnisse zum Teil unsicher. Sie beziehen sich auf Glasscheiben (Doppel- und Mehrfachscheiben), auf zusammengesetzte Betonwände, auf Holzwände u. dgl.

Auffällig ist, daß auf keinerlei Literatur verwiesen ist. Die bekannten Münchener Messungen, besonders die mit Versuchshäuschen, die schon zu wesentlich sichereren und allgemeineren Ergebnissen geführt haben, hätten zum mindesten genannt werden sollen. [B 2082]

Max Jakob.

Der Regelvorgang bei Kraftmaschinen auf Grund von Versuchen an Exzenterreglern. Von A. Watzinger und Leif J. Hanßen. Berlin 1923, Julius Springer. 92 S. mit 82 Abb. Preis Gm. 7, geb. 8.

Einzelkonstruktionen a. d. Maschinenbau. Herausgegeb. von Dipl.-Ing. C. Volk, Berlin. 2. Heft **Kolben.** I. Dampfmaschinen- und Gebläsekolben. Von Dipl.-Ing. C. Volk. II. Gasmaschinen- und Pumpenkolben. Von A. Eckardt. 2. Aufl. bearb. von C. Volk. Berlin 1923, Julius Springer. 77 S. mit 252 Abb. Preis Gm. 3,60.

Die Maschinen-Elemente in Frage und Antwort. Heft 13: **Kurbeltrieb, Kurbel und Exzenter.** Von Ingenieur C. Kahle. Berlin 1923, E. J. Mittler & Sohn. 80 S. m. 94 Abb. Pr. Gm. 1.

Grundzüge der technischen Schwingungslehre. Von Prof. Dr.-Ing. Föppl. Berlin 1923, Julius Springer. 151 S. mit 106 Abb. Preis Gm. 4.

Sammlung Vieweg, Heft 68: **Die Schüttelerscheinungen elektr. Lokomotiven mit Kurbelantrieb.** Von Dr. J. Döry. Braunschweig 1923, Friedr. Vieweg & Sohn, Akt.-Ges. 38 S. Preis geh. Gm. 1,50.

Die Steuerungen der Dampfmaschinen. Von Prof. H. Dubbel. 3. umgearbeitete Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 394 S. mit 515 Abb. Preis Gm. 10.

Handbuch des Dampflokomotivbaues. Von Prof. Dr. M. Igel. Berlin 1923, Krayn. 606 S. mit 550 Abb. u. 10 Tafeln. Preis geb. Gm. 15.

Lager und ihre Schmierung. Deutsche Vacuumöl-A.-G., Hamburg.

Die Gaserzeuger. Handbuch der Gaserei mit und ohne Nebenproduktengewinnung. Von Dipl.-Ing. H. R. Trenkler. Berlin 1923, Julius Springer. 378 S. mit 155 Abb. und 75 Zahlentafeln. Preis geb. Gm. 14.

Traitement des Produits et Sous-Produits de la Destillation de la Houille. Von R. Masse und A. Baril. Paris 1923, Masson & Cie., Gauthier Villars & Cie. 307 Seiten mit 115 Abb.

Wilckes Handbuch für Metallarbeiter. Von Obering. F. Wilcke. Leipzig 1923, H. A. Ludwig Degener. 369 S. mit vielen Abb.

Schriften zur Psychologie der Berufseignung und des Wirtschaftslebens, Heft 24: **Berufspsychologische Beobachtungen im Reichstelegraphendienst.** Von Fr. Giese. Leipzig 1923, Johann Ambrosius Barth. 74 S. mit 13 Tabellen und 13 Abb. Preis Gz. 2,5.

Schriften zur Psychologie der Berufseignung und des Wirtschaftslebens, Heft 25: **Die Träger der Experimentellen Eignungspsychologie.** Von Hildegard Sachs. Leipzig 1923, Johann Ambrosius Barth. 34 S. Preis Gz. 1,2.

Dienst voor Waterkracht en Electriciteit in Nederlandsch-Indië: **Vijfde Jaarverslag 1922.** Landsdrukkerij, Weltevreden 1923. 65 Seiten.

The Krupp trial before the French Court martial. München 1923, Süddeutsche Monatshefte G. m. b. H. 66 S.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Entwicklung und Bau der Hilfsmaschinen auf Dieselschiffen.

Zu dem Aufsatz des Herrn Blaum in Z. Bd. 67 (1923) S. 1013 möchte ich folgendes bemerken: Dem Verfasser scheint nicht bekannt zu sein, daß eine große Anzahl von Kohlensäure-Kältemaschinen, die unmittelbar von einem Elektromotor angetrieben werden, auf Handelsschiffen eingebaut sind, z. B. auf den Schiffen „Vaterland" und „Bismarck" mit Leistungen von je $2 \times 60\,000$ kcal bei $n = 400$ Uml./min (Z. Bd. 62 (1918) S. 842). Diese Anlagen haben sich vorzüglich bewährt. Der Vorteil eines unmittelbar angetriebenen Verdichters ist einleuchtend, denn jedes Übertragungsgetriebe ist eine unangenehme Beigabe und wird nur deshalb angewandt, weil es nicht möglich war, bei der bisherigen Ventilbauart höhere Umlaufzahlen zu wählen.

Um betriebsichere, schnellaufende Verdichter zu erhalten, genügt es, entsprechend gebaute Ventile zu verwenden. Es hat sich in diesem Falle das Kugelventil (D.R.P. Nr. 283 656) am besten bewährt, das aus einer Anzahl von Kugeln im Gewichte von je 2 g besteht. Da sein Hub nur 1 mm beträgt, ist die Massenbeschleunigung sehr gering. Das Ventil gestattet sehr hohe Umlaufzahlen, es sind z. B. Hochdruckverdichter mit 200 at Enddruck und $n = 650$ Uml./min dauernd in Betrieb.

Nach Herrn Blaums Ansicht soll die Kolbengeschwindigkeit die Grenze bilden; es ist aber zu bedenken, daß bei schnellaufenden Verdichtern die Abmessungen der Zylinder kleiner und die Kolbengeschwindigkeit keinesfalls höher werden als bei den langsam laufenden. Der größte Nachteil eines Übersetzungsgetriebes bei Verdichtern ist, daß bei ansteigendem Druck und während des kurzen Ausschubs das Getriebe stark beansprucht wird, während sich bei dem gleich darauf einsetzenden Saugen die Beanspruchungsrichtung ändert, so daß Stöße unausbleiblich sind. Hierdurch wird eine starke Abnutzung des Getriebes herbeigeführt.

Benkert.

Es ist mir selbstverständlich bekannt, daß auch für Handelsschiffe Kältemaschinen mit 400 Uml./min gebaut worden sind; indessen ist zu beachten, daß bei kleineren Maschinen und sehr hohen Umdrehungen infolge des schädlichen Raumes im Verdichter der Lieferungsgrad der Maschinen zurückgeht. So lange man keine guten Übersetzungsgetriebe für elektrisch angetriebene Kühlmaschinen hatte, war es Brauch, bei diesen Maschinen hohe Umdrehungen und unmittelbar angetriebene Verdichter zu verwenden. Wenn man den schlechten Lieferungsgrad in Kauf nehmen wollte, war es natürlich auch möglich, solche Maschinen betriebsicher zu bauen.

Die von mir wiedergegebene Bauart stellt aber durch die Eigenart des Antriebes und die so gegebene Möglichkeit, auf geringere Umdrehungszahlen und die damit verbundenen Vorteile zu kommen, einen Fortschritt dar. [Z 2131]

R. Blaum.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE
SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 4 SONNABEND, 26. JANUAR 1924 BD. 68

INHALT:

Eigenschaften und Verwertung von Hoch- und Höchstdruckdampf.

Vorgetragen in der Tagung des V. d. I. über Hochdruckdampf vom 19. Januar 1924 in Berlin.

Von E. Josse, Charlottenburg.

Eigenschaften des Wasserdampfes — Erzeugungswärmen und Wärmegefälle — Anteile des Über- und des Unterdruckgebietes am Wärmegefälle — Thermischer Wirkungsgrad — Zwischenüberhitzung — Verarbeitung des Höchstdruckdampfes in Kolbenmaschinen (Borsig) und Dampfturbinen (de Laval, Brown, Boveri & Cie, Erste Brünner) — Speisewasservorwärmung durch Anzapfdampf — Verwertung der überschüssigen Rauchgaswärme.

Eine Erörterung über die Verwertung von Hoch- und Höchstdruckdampf setzt die Kenntnis der Eigenschaften des Wasserdampfes in diesen Druckgebieten voraus. Die verdienstvollen Arbeiten von Knoblauch, Raisch und Hausen haben die kennzeichnenden Werte des gesättigten und überhitzten Wasserdampfes bis zu 60 at[1]) und 450° festgelegt. Ausgehend von der versuchsmäßigen Bestimmung der spezifischen Wärme bei gleichbleibendem Druck des überhitzten Dampfes haben diese Forscher Beziehungen über spezifische Wärme, Druck und Temperatur bis zu 30 at und 450° angegeben, auf Grund der Gesetze der Thermodynamik Gleichungen für den Wärmeinhalt und die Entropie des überhitzten Dampfes entwickelt und damit diese Werte durch Extrapolation über 30 at hinaus bis zu 60 at und 450° bestimmt. Die Zuverlässigkeit der so gefundenen Werte wurde aus ihrer Übereinstimmung mit auf anderm Wege ermittelten Größen gefolgert. Da heute mit einer Steigerung der Drücke bis zu 100 at und darüber und mit einer Dampftemperatur vor der Maschine bis zu 450° gerechnet werden kann, habe ich diese Extrapolation weiter fortgesetzt und mittels der Gleichungen von Knoblauch Wärmeinhalt und Entropie des überhitzten Wasserdampfes bis zu 100 at und für zwei Dampftemperaturen, die übliche von 350° und die heute praktisch vor der Maschine erreichbare von 450°, errechnet. Diese so ermittelten Größen dürften den wirklichen sehr nahe kommen; Gewißheit darüber wird man erst nach Abschluß der in München im Gange befindlichen Untersuchungen über die spezifischen Wärmen über 30 at hinaus erhalten.

Die Wärmeinhalte des überhitzten Dampfes für die Drücke von 0 bis 100 at und für diese beiden Temperaturen sind in Abb. 1 eingetragen. Es ergibt sich hierbei die bemerkenswerte Tatsache, daß die Erzeugungswärme[2]) des überhitzten Dampfes mit steigendem Druck dauernd und in diesem Bereich nahezu linear abnimmt, daß also die Erzeugung des überhitzten Hoch- und Höchstdruckdampfes weniger Wärme als die des Dampfes niederen Druckes erfordert, z. B. beträgt bei 20 at und 450° die Erzeugungswärme 801 kcal/kg, bei 100 at und der gleichen Temperatur 781 kcal/kg.

Zur Beurteilung der zur Überhitzung erforderlichen Wärme ist es notwendig, auch die Erzeugungswärme des trocken gesättigten Dampfes festzulegen. Für diese stehen Werte von Stodola, Schüle und neuerdings bis zu 60 at von Knoblauch zur Verfügung. Die in Abb. 2 eingetragenen entsprechenden Kurven zeigen erhebliche Abweichungen, insbesondere das rasche Abfallen der Werte von Stodola. In allerletzter Zeit hat die Atmos-Gesellschaft in Stockholm an dem in Gotenburg in Betrieb befindlichen Kessel ihrer Bauart von 110 at durch Drosselversuche die Gesamtwärme des trocken gesättigten Dampfes zwischen 28 und 100 at bestimmt. Bei etwa 35 at läuft die so ermittelte Kurve in die von Knoblauch über. In Abb. 1 ist die von Knoblauch bis zu 60 at angegebene Kurve in der gleichen Richtung fortgesetzt durch Interpolation zwischen den Kurven von Schüle und von Stodola eingetragen. Diese frei angenommene Kurve liegt etwas über der Atmos-Linie. Es ist daher möglich, daß der Anteil der Überhitzungswärme in dem höheren Druckbereich größer ist als sich aus Abb. 1 ergibt.

Da bei der neuzeitlichen Verwertung des Höchstdruckdampfes auch solcher von kritischem Druck entsprechend 225 at in in Frage kommt, weil er hier die geringste Erzeugungswärme des trockenen Sattdampfes von 499 kcal/kg enthält, ist es notwendig, den Verlauf der Erzeugungswärme des trocken gesättigten Dampfes bis zum kritischen Druck festzulegen. Diese Kurve ist zwischen 100 at und dem kritischen Druck nach Schüle verzeichnet. Aus Abb. 1 ist die stetige Zunahme der Flüssigkeitswärme und die Abnahme der Verdampfungswärme mit steigendem Druck zu ersehen, bis letztere im kritischen Druck den Wert Null erreicht. Wenn diese beiden Größen auch in erster Linie für die Dampferzeugung, d. h. für den Kessel wichtig sind, so sind sie auch maßgebend für das neuzeitliche Arbeitsverfahren der Speisewassererwärmung, das in der stufenweisen Vorwärmung durch Anzapfdampf aus verschiedenen Druckgebieten der Maschine besteht, und das mit dem Übergang zum Hochdruckbetrieb an Bedeutung gewinnt.

Bei der Verarbeitung des Hoch- und Höchstdruckdampfes ist die Kenntnis der spezifischen Rauminhalte wichtig, die bei der Kolbenmaschine für die Abmessungen der Rohrleitungen und der Ventilquerschnitte und bei der Turbine für die Beschaufelung maßgebend sind. Die spezifischen Rauminhalte für die beiden Temperaturen 350 und 450° ergeben sich aus Abb. 3. Man erkennt hieraus, daß Dampf von 100 at und 450° nur ein Fünftel des Raumes des Dampfes von 20 at und 350° einnimmt. Das hat zur Folge, daß, gleiche Dampfgeschwindigkeit vorausgesetzt, z. B. die Rohrweiten bei dem ersten Dampfzustand nur das 0,45 fache der Rohrweiten bei dem zweiten Zustand betragen.

Die folgenden Untersuchungen wurden auf Dampf bis zu 100 at beschränkt, da selbst nach dem Benson-Verfahren, das bei der Rugby-Anlage ausgeführt wird[3]), der Dampf zwar bei kritischem Druck, also mit der geringsten Erzeugungswärme erzeugt, aber vor der Verarbeitung in der Kraftmaschine auf 105 at heruntergedrosselt und dann bei diesem Druck, bei dem die Überhitzungswärme kleiner ist als bei 225 at, überhitzt wird.

Wenn die durch die Verwendung von Hochdruckdampf zu erwartende bessere Wärmeausnutzung bewertet werden soll, so ist es zweckmäßig, von dem gegenwärtigen Stand der Dampfkrafttechnik auszugehen, der in den letzten beiden Jahren durch einen Frischdampfzustand von 20 at und 350° vor der Maschine gekennzeichnet wird; dieser Zustand bildet daher den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Untersuchungen. Es soll dabei nicht verkannt werden, daß zurzeit einige im Bau befindliche Anlagen für 30 bis 40 at bemessen werden und daß andererseits die Mehrzahl der im Betrieb befindlichen älteren Dampfkraftwerke mit niedrigeren Drücken von 16 bis 12 at arbeiten. Im Vergleich zu letzteren ist der Gewinn durch den Übergang auf Hochdruckdampfbetrieb natürlich erheblich größer zu bewerten. Das

[1]) Alle Druckangaben beziehen sich auf absoluten Druck.
[2]) Wärmeinhalt und Erzeugungswärme sind zahlenmäßig gleichgesetzt.
[3]) Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52 S. 1167.

zwischen 1 und 20 at liegende Gefälle wird in der Folge als Mitteldruckteil, das darüber hinausgehende als Hochdruckteil bezeichnet.

Um die Arbeitsleistung des Hochdruckdampfes gegenüber derjenigen von Dampf üblicher Spannung grundsätzlich zu beurteilen, muß man einerseits das in der verlustlosen Maschine bei verschiedenen Drücken und Temperaturen verfügbare Wärmegefälle, andererseits die aufzuwendende Erzeugungswärme in Betracht ziehen. Für diese Untersuchungen bin ich von der *IS*-Tafel von Knoblauch ausgegangen; diese wurde bis auf 100 at erweitert, indem die nach den Formeln von Knoblauch berechneten Werte für Wärmeinhalt und Entropie eingetragen wurden, eine Extrapolation, die Knoblauch und seinen Mitarbeitern zu weitgehend erschien und deren Zulässigkeit erst durch weitere Versuche nachgewiesen werden muß. Bei dem heutigen Stand halte ich aber diese Werte für die wahrscheinlichsten.

Aus der vervollständigten *IS*-Tafel habe ich die verfügbaren Wärmegefälle abgegriffen und in Abb. 4 derart aufgetragen, daß die Linie für 1 at abs. Gegendruck wagerecht gelegt und die verfügbaren Wärmegefälle bei 20, 35, 60 und 100 at Anfangsdruck und bei 450° im Über- und im Unterdruckgebiet nach oben oder nach unten eingetragen wurden. Gegendrucklinien im Unterdruckgebiet wurden einmal bei 0,02 at abs., entsprechend der höchsten erreichbaren Luftleere, und dann bei 0,15 at abs. als der bei Kolbenmaschinen mit Kondensationsbetrieb üblichen Luftleere eingezeichnet. Im Überdruckgebiet wurden noch Drucklinien für 3 und für 6 at abs. Gegendruck eingetragen. Die gestrichelte Linie entspricht der Sättigungskurve des Dampfes.

Man ersieht aus dieser Darstellung zunächst, daß das im Unterdruckgebiet verfügbare Wärmegefälle mit zunehmendem Anfangsdruck zwischen 20 und 100 at und gleicher Temperatur von 450° etwas abnimmt, im Überdruckgebiet dagegen viel rascher zunimmt, so daß das insgesamt verfügbare Wärmegefälle durch den Übergang von 20 auf 100 at bei einem Gegendruck von 0,02 at von 296 auf 333 kcal/kg, d. h. um 12,5 vH zunimmt. Es sei hier darauf hingewiesen, daß sich entsprechend der größeren Arbeitsleistung der Wärmeinhalt des in den Kondensator abströmenden Dampfes von 505 auf 448 kcal/kg verringert. Man kann daher die Wirkung des Hochdruckdampfbetriebes auch dahin kennzeichnen, daß sie die im Kondensator also nutzlos abzuführende Wärme verringert, was das Endziel aller Verbesserung der Dampfkraftmaschine sein muß. Geht man auf einen andern Grenzfall über und betrachtet man die Zunahme des verfügbaren Wärmegefälles bei Betrieb mit Gegendruck beispielsweise von 6 at, der in der Industrie vorkommt, so nimmt das Wärmegefälle bei der gleichen Druckerhöhung von 20 auf 100 at, von 83 auf 152 kcal/kg zu, was der außerordentlichen Steigerung um 83 vH entspricht.

Man erkennt hieraus schon, *daß bei Übergang auf Hochdruckbetrieb die Zunahme des verfügbaren Wärmegefälles verhältnismäßig um so größer ist, je höher der Gegendruck liegt, daß also bei Gegendruckbetrieb die Verwendung von Hochdruckdampf wesentlich größere wärmewirtschaftliche Vorteile als bei Kondensationsbetrieb bieten wird.*

Aus der Sättigungslinie in Abb. 4 erkennt man ferner, wie erheblich sich mit der Zunahme des Frischdampfdruckes der im Überhitzungsgebiet verlaufende Anteil des verfügbaren Wärmegefälles verkürzt und umgekehrt der in das Naßgebiet sich erstreckende Anteil vergrößert. Auf diese Verhältnisse, die die thermodynamische Ausnutzung des Hochdruckdampfes verschlechtern und die bei diesem auch hohe Überhitzung verlangen, wird noch eingegangen werden.

Aus Abb. 4 ersieht man ferner, wie sich mit dem Übergang auf Hochdruckbetrieb die Anteile der im Überdruck- und im Unterdruckgebiet gelegenen Gefälle verschieben, indem das Überdruckgebiet überragende Bedeutung erhält; z. B. erreicht der Anteil des Überdruckgebietes am verfügbaren Gefälle bei 100 at das Dreifache des Anteils des Unterdruckgebietes, während er bei 20 at nur wenig größer als dieser ist; bei 12 at und 300° sind die beiden Anteile gleich. Mit andern Worten: der Überdruckteil der Kraftmaschine erlangt bei Hochdruck eine viel größere Wichtigkeit als der Unterdruckteil, und sein Anteil an der Leistung sowie sein Einfluß auf den gesamten Dampfverbrauch steigert sich in dem Maß, als das Überdruckgefälle das Unterdruckgefälle überragt.

Der Einfluß der Zunahme der verfügbaren Wärmegefälle und der Abnahme der Erzeugungswärme mit steigendem Druck auf die Wärmewirtschaft des Dampfes kann durch die Aufstellung der thermischen Wirkungsgrade zusammengefaßt werden. Diese sind für die verlustlose Maschine in Abb. 5 dargestellt, für Betrieb mit mittlerem Gegendruck (3 at) und für Kondensationsbetrieb mit üblicher Luftleere (0,07 at) bei Dampftemperaturen von 350° und 450° vor der Maschine. Es ergibt sich eine bis zum betrachteten Grenzdruck fortlaufende Steigerung des thermischen Wirkungsgrades. Stets ist der thermische Wirkungsgrad bei 450° Frischdampftemperatur beachtlich höher als bei 350°, so daß schon aus thermischen Gründen die Überhitzung so hoch wie möglich gewählt werden sollte. Ferner ergibt sich auch hier wieder die bedeutend größere Steigerung bei Gegendruckbetrieb (69 vH bei 100 at) gegenüber Kondensationsbetrieb (24 vH bei 100 at).

Würde man sich bei der Bewertung des Hochdruckdampfes auf die verlustlose Maschine beschränken, so würden zwei wichtige Umstände, die der Übergang zum Hochdruckbetrieb zur Folge hat, nicht berücksichtigt werden; diese sind die nun zunehmende Bedeutung des geringeren Gütegrades bei Dampfturbinen im Überdruckteil und der Einfluß des viel tieferen Eindringens der Ausdehnung in das Naßdampfgebiet.

Letzterer Umstand beeinträchtigt bei der Kolbenmaschine wie bei der Dampfturbine in gleicher Weise den thermodynamischen Wirkungsgrad und veranlaßt fast alle Konstrukteure von Hochdruckdampfkraftanlagen, die Zwischenüberhitzung anzuwenden. Die überragende Bedeutung der Überdruckstufe findet die Kolbenmaschine gut vorbereitet, die hier von jeher einen hohen Gütegrad erzielte, während man bei der Dampfturbine, deren Wirkungsgrad im Überdruckteil schon bei den bis-

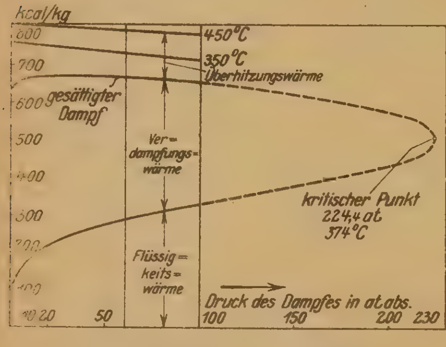


Abb. 1. Wärmeinhalte von gesättigtem und überhitztem Wasserdampf.

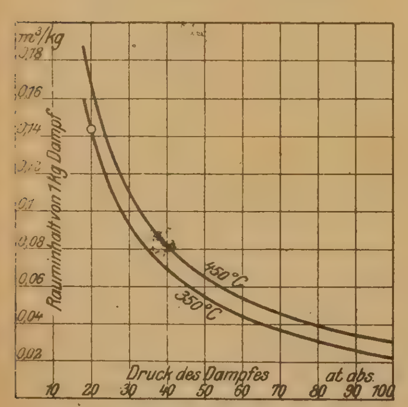


Abb. 3. Einfluß der Drucksteigerung auf den Rauminhalt von Dampf.

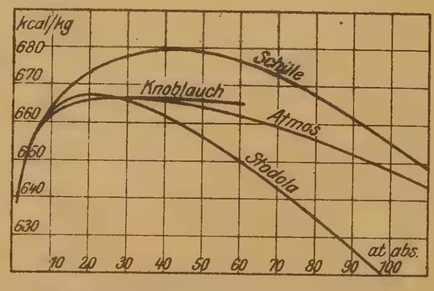


Abb. 2. Wärmeinhalt von gesättigtem Wasserdampf.

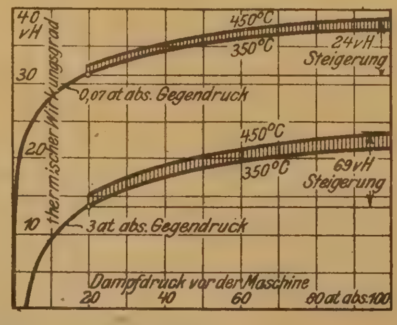


Abb. 5. Thermischer Wirkungsgrad der verlustlosen Maschine bei steigendem Druck vor der Maschine und 0,07 sowie 3 at abs. Gegendruck.

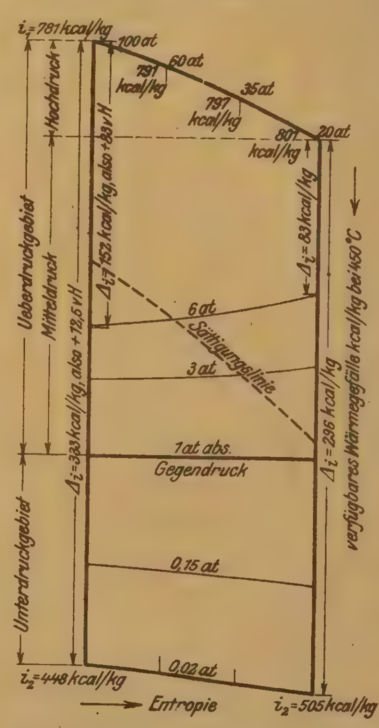


Abb. 4. Verfügbares Wärmegefälle bei 450° C und verschiedenem Druck

herigen Dampfdrücken bekanntlich geringer war, bei Verarbeitung des hochgespannten Dampfes zu einer Neukonstruktion gezwungen wird, wenn der wirtschaftliche Erfolg des Hochdruckbetriebes nicht beeinträchtigt werden soll.

Es ist daher notwendig, die Betrachtung auf die wirkliche Maschine auszudehnen. Bei der Kolbenmaschine haben die Versuche von W. Schmidt[1]) an seiner Hochdruck-Versuchsmaschine im ersten Zylinder einen Gütegrad von 95 vH ergeben, und er hat beobachtet, daß der Gütegrad mit zunehmendem Dampfdruck steigt. Die durch das frühere Erreichen des Sättigungsgebietes bedingte Verschlechterung der Wärmeausnutzung im Mittel- und Niederdruckteil wurde durch Zwischenüberhitzung bekämpft. Die Kolbenmaschine ist daher eine für die Verarbeitung von Hochdruckdampf sehr geeignete Kraftmaschine.

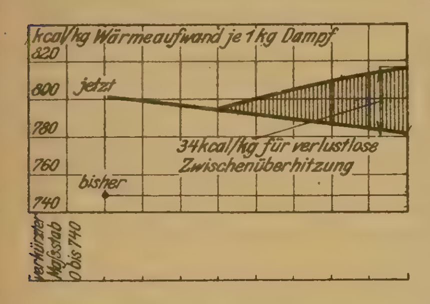
Bei der Dampfturbine heute üblicher Bauart steht die Überdruckstufe im Aufbau und Wirkungsgrad hinter der Niederdruckseite zurück. Man kann den Gütegrad[2]) einer Kondensationsturbine heute üblicher Bauart und von bisherigem Druck auf 75 vH, den Gütegrad einer normalen Gegendruckturbine auf 70 vH bewerten. Mit Veränderung der Dampftemperatur ändern sich diese Gütegrade. Baumann, Manchester, sieht den Vorteil erhöhter Überhitzung nicht in dieser selbst, sondern in dem weniger tiefen Eindringen der Ausdehnung in das Naßdampfgebiet. Bisher wurde eine Temperaturveränderung von je 20° mit ± 1 vH Veränderung des Gütegrades bewertet; dies ist auch in den folgenden Untersuchungen geschehen, wenn die Ausdehnung in das Naßdampfgebiet hineinragt; für nur im Überhitzungsgebiet verlaufende Wärmegefälle ist für je 40° Temperaturänderung ± 1 vH Änderung des Gütegrades angenommen.

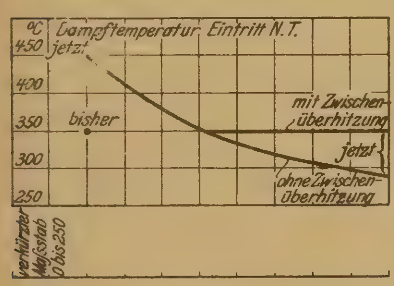
Bei dem Übergang auf Hochdruckbetrieb im Turbinenbau müssen, schon um die hohen Drucke und die hohen Temperaturen zu meistern, grundlegende Änderungen der Hochdruckturbine vorgenommen werden, um so mehr, wenn man den bisher in der Überdruckstufe der Normalturbine erreichten Gütegrad auch für das vorgeschaltete Hochdruckgebiet erhalten will. Turbinen-Neukonstruktionen für Hochdruckdampf sind zunächst von der de-Laval-Gesellschaft in Stockholm und dann von Brown, Boveri & Cie., Baden, geschaffen worden. Beide führen die Höchstdruckstufe mit hohen Umdrehungszahlen, geringen Durchmessern und kleiner Anzahl der Räder aus, verarbeiten also Wärmegefälle in jedem Rad, die unter dem des Curtisrades, aber höher liegen als bei der neuesten Brünner Bauart. Man wird daher für den Höchstdruckteil dieser Turbinen den Gütegrad von 70 vH annehmen dürfen, der jetzt bei üblichen Gegendruckturbinen erreicht wird.

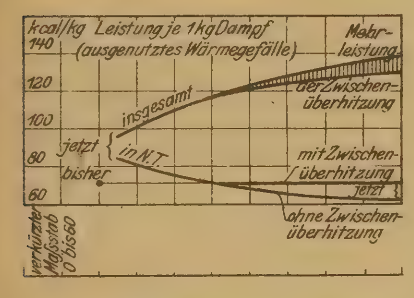
Die auf neuer Grundlage geschaffene Brünner Turbine hat durch Teilung des Überdruckteils der Normalturbine in zwei Teilturbinen, durch Anwendung sehr geringer Dampfgeschwindigkeiten, also einer größeren Anzahl von vollbeaufschlagten Rädern von mäßigem Durchmesser in jeder Teilturbine und durch entsprechende konstruktive Maßnahmen, welche insbesondere die Ström- und Reibungsverluste vermindern[3]), in dem Mitteldruckteil einen Gütegrad von 84 vH erzielt und einen konstruktiven Aufbau erfahren, der sie für sehr hohe Drucke und Temperaturen geeignet macht. Es ist anzunehmen, daß bei Übertragung dieser Bauart auf den Hochdruckteil hier 80 vH Wirkungsgrad erzielt werden. Bei der nachfolgenden Betrachtung der wirklichen Hochdruckturbinenanlage bin ich daher einmal von den Turbinen üblicher Bauart ausgegangen, wobei Gütegrade von 75 für die Normal-(Kondensations-)Turbine bzw. 70 für den Hoch- und Mitteldruckteil angenommen wurden, und von den Fortschritten, welche die Brünner Bauart verwirklicht, wobei ich im Hochdruckgebiet 80 vH, im Mitteldruckgebiet 84 vH und für eine Turbine, bestehend aus Mittel- und Niederdruckteil, 80 vH thermodynamischen Wirkungsgrad vorausgesetzt habe.

Betrachtet man nun die wirkliche Turbine, und zwar zunächst unter Berücksichtigung der bisher erzielten Gütegrade und für Gegendruckbetrieb, so ergeben sich bei der Zunahme des Dampfdruckes von 20 auf 100 at die in Abb. 6 bis 9 dargestellten Verhältnisse. Man sieht, daß die Erzeugungswärme des Dampfes bei 450° mit steigendem Druck abnimmt, Abb. 6, und die Gesamtleistung für je 1 kg Dampf stetig zunimmt, Abb. 8. Hierbei ist zu beachten, daß die Dampftemperatur von der Normalturbine, für die wieder 20 at Dampfdruck und 350° Dampftemperatur vorausgesetzt sind, infolge der vorstehenden Expansion im Höchstdruckgebiet abnimmt, Abb. 7, und dadurch die Leistung je 1 kg Dampf in der Normalturbine sinkt, Abb. 8. Die Abnahme der Dampftemperatur unter die als normal angesehene von 350° kann durch Zwischenüberhitzung verhindert werden. Diese erfordert, verlustlose Aufwärmung vorausgesetzt, einen Mehraufwand von Wärme, entsprechend Abb. 6, hierdurch wird die Normalleistung von 1 kg Dampf in der Mitteldruckturbine

[1]) Z. Bd. 65 (1921) S. 663.
[2]) Die Gütegrade sind auf die Temperaturen bezogen.
[3]) Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52 S. 1163.







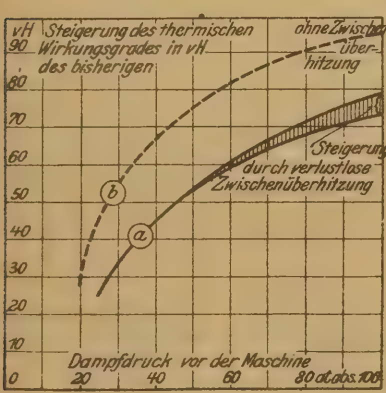


Abb. 6 bis 9. Einfluß der Drucksteigerung auf den thermischen Wirkungsgrad bei Gegendruckbetrieb.

	bisher	jetzt Kurve a	Kurve b (neue Brünner Anlage)
Druck vor der Maschine at abs.	20	25 bis 100	25 bis 100
Dampftemperatur °C	350	450	450
Gegendruck at abs.	3	3	3
Gütegrad, Hochdruckteil . . .	—	0,70	0,80
„ Normalturbine (NT)	0,70	0,70 ± 0,01 · 0,70 bei ± 20 bis 40°	
„ Mitteldruckteil . . .	—	—	0,84 bei 20 at abs., 400 °C am Eintritt und 0,84 ± 0,01 · 0,84 bei ± 20 bis 40 °C.

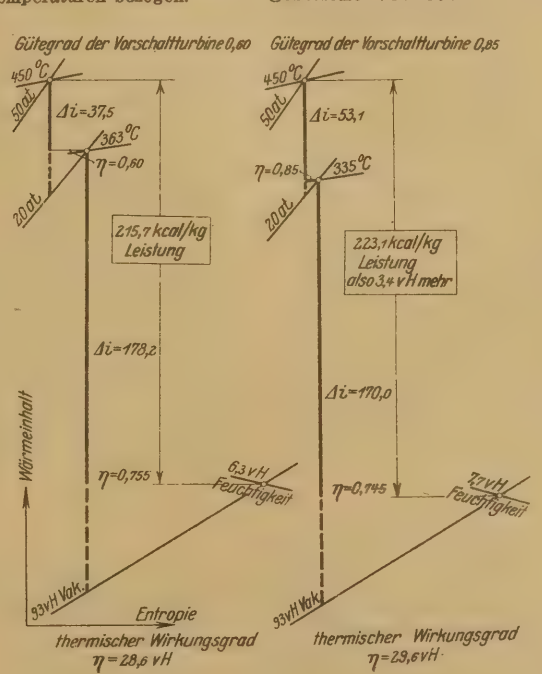
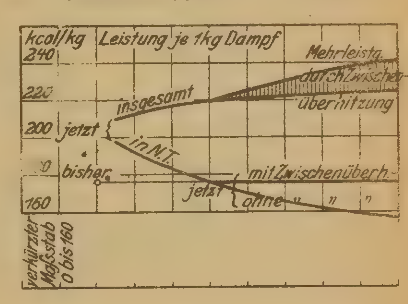


Abb. 12. JS-Diagramme.



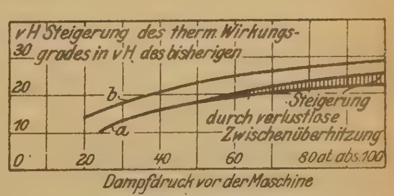


Abb. 10 u. 11. Einfluß der Drucksteigerung auf den thermischen Wirkungsgrad bei Kondensationsbetrieb.

	bisher	jetzt Kurve a	Kurve b (neue Brünner Anlage)
Druck vor der Maschine at abs.	20	80 bis 100	30 bis 100
Dampftemperatur v. d. Masch. °C	350	450	450
Gegendruck at abs.	0,07	0,07	0,07
Gütegrad, Hochdruckteil . . .	—	0,70	0,80
„ Normalturbine (NT)	0,75	0,75 ± 0,01 · 0,75 bei ± 20 °C	—
„ Mittel- und Niederdruckteil, gemeinsam	—	—	0,80 bei 20 at abs. 400 °C am Eintritt und 0,80 ± 0,01 · 0,80 bei ± 20 °C.

wieder hergestellt und damit eine Mehrleistung der ganzen Turbine erreicht, Abb. 8.

Die verhältnismäßige Steigerung des thermischen Wirkungsgrades durch den Übergang auf Hochdruckbetrieb ergibt Abb. 9; Kurve *a* ist auf Grund der Gütegrade bisheriger Turbinen gezeichnet, Kurve *b* unter Berücksichtigung der Gütegrade der hochwertigen Brünner Turbine. Man erkennt einerseits die erhebliche Steigerung, die der thermische Wirkungsgrad durch den Übergang auf Hochdruckbetrieb erfährt, und darüber hinaus den bedeutenden Einfluß der hochwertigen Bauart. Der Einfluß der Zwischenüberhitzung ist bei der Kurve *a* angedeutet. Es kann daher wohl als nachgewiesen gelten, daß bei Gegendruckbetrieb die Verwendung des Hochdruckdampfes und insbesondere seine Verarbeitung in der hochwertigen Brünner Bauart außerordentliche wärmewirtschaftliche Vorteile bietet, die fortlaufend bis zur betrachteten oberen Druckgrenze steigen.

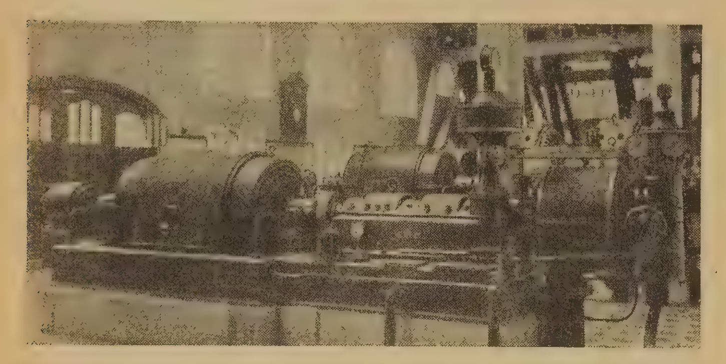


Abb. 13. Hochdruckturbine der Dampfturbinengesellschaft de Laval in Stockholm.

In Abb. 10 und 11 ist das Ergebnis der gleichen Untersuchungen für Kondensationsbetrieb dargestellt. Abb. 10 zeigt wieder die Zunahme der Leistung der Gesamtturbine für je 1 kg Dampf mit steigendem Druck, die in diesem Fall von etwa 60 at nur noch langsam erfolgt und durch Zwischenüberhitzung gesteigert werden kann, die Abnahme der Leistung für je 1 kg Dampf in der Normalturbine. In Abb. 11 ist die verhältnismäßige Steigerung des thermischen Wirkungsgrades einmal mit den Gütegraden der üblichen Turbine (Kurve *a*), ein andermal mit den Gütegraden der hochwertigen Bauart (Kurve *b*) dargestellt. Die Steigerung des thermischen Wirkungsgrades mit dem Druck ist etwas größer als die Steigerung der Leistung für je 1 kg Dampf, infolge der Verminderung des Wärmeaufwandes für Dampf von höherem Druck. Die verhältnismäßige Zunahme des thermischen Wirkungsgrades mit der Drucksteigerung ist aber hier viel geringer als bei Gegendruckbetrieb, oberhalb 60 at ist sie nicht

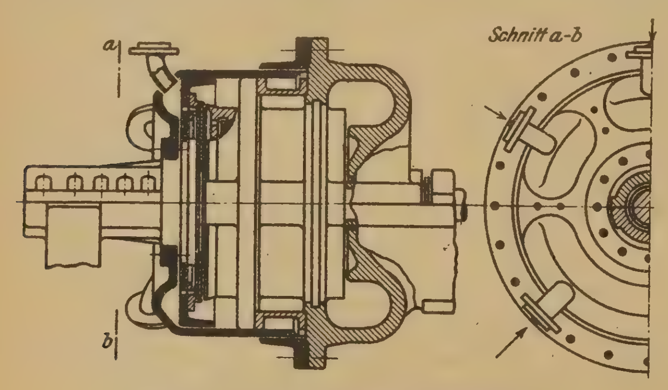


Abb. 14 und 15. Zweiteiliges Stahlgehäuse.

mehr erheblich. Dies ist in der verhältnismäßig geringeren Zunahme des Wärmegefälles infolge der Drucksteigerung bei Kondensation begründet.

Die praktische Ausführung der Zwischenüberhitzung ist unbequem. Die von W. Schmidt erprobte Zwischenüberhitzung mittels hochgespannten Sattdampfes erscheint am einfachsten, sie beschränkt aber die erzielbare Überhitzung auf etwa 10° unter der Temperatur des Heizdampfes. Bei 60 at Frischdampfspannung könnte demnach der Zwischendampf nur bis auf etwa 265°, bei 100 at könnte er auf etwa 300° erhitzt werden. Höhere Zwischenüberhitzung — bei einem Neubau könnte man den Zwischendampf bis auf die obere Grenze von 450° aufwärmen — wird im allgemeinen mit Verbrennungsgasen durchgeführt werden müssen, dabei ist ein besonders geheizter Zwischenüberhitzer als unwirtschaftlich im allgemeinen zu vermeiden. Es bleibt also der Einbau eines zweiten Überhitzers in den Betriebskessel, mit je einer Rohrleitung zur Zu- und Abführung des Dampfes und den damit verknüpften Druck- und Temperaturverlusten.

Abb. 11 zeigt, daß die Zwischenüberhitzung eine zusätzliche Steigerung des thermischen Wirkungsgrades, z. B. bei 100 at von 22,3 auf 25,5 vH bewirkt. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Zwischenüberhitzung nur die zum Erwärmen des Dampfes auf 350° erforderliche Wärme von 34 kcal/kg verbraucht (Abb. 6); in Wirklichkeit verbraucht sie aber wegen unvermeidlicher Verluste mehr Wärme, was den Gewinn am thermischen Wirkungsgrad verringert. Erklärt man den Wirkungsgrad des Zwischenüberhitzers als das Verhältnis der im Zwischenüberhitzer dem Dampf zugeführten Wäme zur dafür aufgewendeten Brennstoffwärme, so müßte im vorliegenden Fall der Zwischenüberhitzer mit einem höheren Wirkungsgrad als rd. 60 vH arbeiten, wenn durch die Zwischenüberhitzung eine Kohlenersparnis erzielt werden soll[1]).

Allgemein ist der Einfluß der Zwischenüberhitzung unter sonst gleichen Verhältnissen um so geringer, je kleiner der Leistungsanteil ist, auf dem sie zur Wirkung kommt; infolgedessen bleibt ihr Vorteil bei Gegendruckbetrieb verhältnismäßig hinter dem bei Kondensationsbetrieb zurück, vgl. Abb. 9 und 11. Es dürfte daher kaum berechtigt scheinen, an die Zwischenüberhitzung allzu große Hoffnungen zu knüpfen.

Wenn man die Schädigung des thermodynamischen Wirkungsgrades durch das tiefere Eindringen der Dampfdehnung in das Naßdampfgebiet bei Höchstdruck vermeiden will, so besteht außer der Zwischenüberhitzung — wenigstens theoretisch — noch die Möglichkeit, das Wasser in dem Dampf durch besondere Ausbildung der Schaufeln unschädlich zu machen. Auf diesen Weg hat Dr. Havlicek in einer Veröffentlichung hingewiesen[2]), in der er die Verwendung von Dampf von 100 at empfahl. Tatsächlich beschäftigt sich gegenwärtig ein erfolgreicher Turbinenkonstrukteur mit diesem Problem.

Da Meßergebnisse für Turbinen mit 50 at und darüber noch nicht vorliegen, wird man vielleicht einwenden, daß in der Hochdruckstufe Gütegrade von 70 und sogar von 80 vH, die ich für die gewöhnliche und für die hochwertige Bauart bei den vorstehenden Untersuchungen angenommen habe, nicht erzielt werden können. Bei der Benson-Anlage in Rugby rechnet man hier tatsächlich mit 60 vH. Es ist deshalb noch festgestellt worden, welchen Einfluß ein niedriger Gütegrad (60 vH) und ein hoher Gütegrad (85 vH) in der oberen Stufe von 50 bis 20 at und beide Male bei dem üblichen Gütegrad von rd. 75 vH für das restliche Wärmegefälle auf den gesamten thermischen Wirkungsgrad bei Kondensationsbetrieb hat. In Abb. 12 sind die entsprechenden *IS*-Diagramme gezeichnet; aus ihnen geht hervor, daß die thermischen Wirkungsgrade 28,6 und 29,6 vH betragen, der Unterschied also nur 1 vH und die Mehrleistung bei hochwertiger Oberstufe 3,4 vH beträgt.

Verarbeitung der hohen Dampfdrücke und Temperaturen.

Nachdem wir festgestellt haben, daß der Übergang auf Hochdruckdampf bei Gegendruckbetrieb bis zu 100 at und mehr eine dauernde, sehr erhebliche Verbesserung, bei Kondensationsbetrieb bis zu rd. 60 at noch eine nicht unbedeutende Steigerung der thermischen Ausnutzung ergibt, wenden wir uns der Frage zu, in welcher Weise konstruktiv die Verarbeitung hoher Drücke und Temperaturen in den Kraftmaschinen möglich erscheint und bereits verwirklicht wurde.

Drücke von 100 at und mehr und Temperaturen von 450° können von geeignetem Material heute beherrscht werden. In erster Linie kommt die Kolbenmaschine in Betracht, da ebenso hohe Kolbenkräfte beim Dieselmotor u. a. anstandslos bewältigt werden, da ferner der Hochdruckzylinder bekanntlich einen hohen Gütegrad hat und die Schaffung von Ventilen mit kleinen Querschnitten keine besonderen Schwierigkeiten macht. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß das Dichthalten der Einlaßventile, das schon bei gewöhnlichen Heißdampfmaschinen kaum erzielt wird, bei den hohen Temperaturen besondere Bauart erfordert. Die Versuche von W. Schmidt haben erwiesen, daß das Wärmegefälle bis hinauf zu 60 at durch die Kolbenmaschine anstandslos und mit hohem Gütegrad verarbeitet werden kann. Die Firma

---

[1]) Für diesen Grenzfall gilt $\eta = \frac{a}{h} \eta_1$, wo

a = dem Dampf bei verlustloser Zwischenüberhitzung zuzuführende Wärmemenge . . . . . 34 kcal/kg
entspr. einer Temperatursteigerung von 288° auf 350° bei 20 at

h = Unterschied der Maschinenleistungen mit und ohne Zwischenüberhitzung . . . . . 17,6 „
entsprechend einem Gütegrad von 0,75 bei 350° und 0,72 bei 288° vor der Normalturb.

η_1 = Wirkungsgrad der Anlage ohne Zwischenüberhitzung 0,24
entsprechend einem thermischen Wirkungsgrad der Maschine von 0,80 und einem Kesselwirkungsgrad von 0,80

$$\eta = \frac{a}{\left\{\begin{matrix}\text{für Zwischenüberhitzung je 1 kg Dampf} \\ \text{aufgewendete Brennstoffwärme}\end{matrix}\right\}} = \frac{34 \cdot 0{,}24}{17{,}6} \ . \ . \ . \ 0{,}465$$

Für Zwischenüberhitzung aufgewendete Brennstoffwärme $= \frac{34}{0{,}465} =$ 73 kcal/kg

Wärmeverlust in Rohrleitung zum und vom Zwischenüberhitzer, angenommen . . . . . 11 „

Dem Dampf im Zwischenüberhitzer zuzuführende Wärmemenge = 34 + 11 = ... 45 „

Wirkungsgrad des Zwischenüberhitzers $= \frac{45}{73} =$ . . . . . rd. 0,60 „

[2]) Zeitschrift d. österr. Ing.- u. Architektenvereins 17. Oktober 1893.

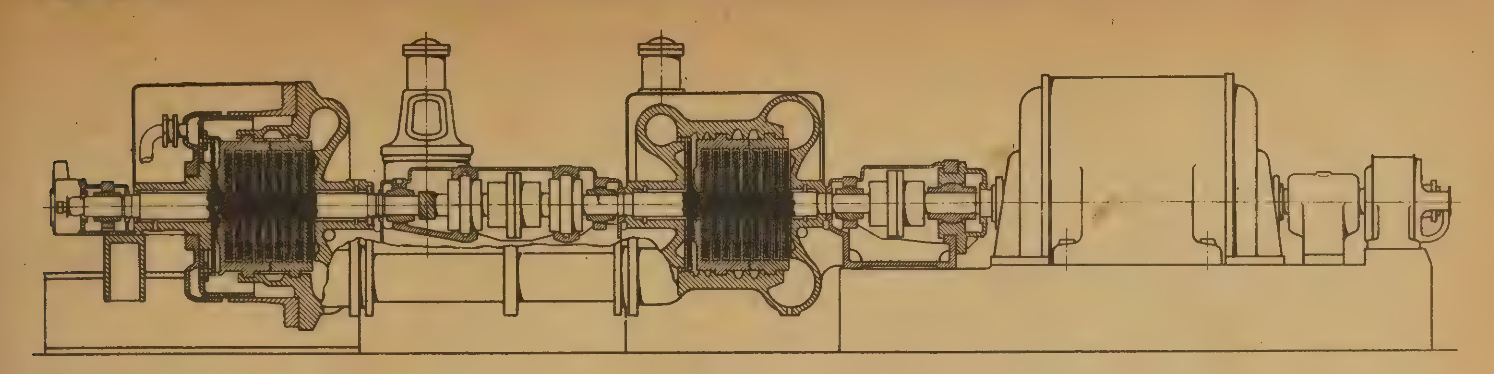


Abb. 16. Aufbau einer Brünner Anzapf-Gegendruckturbine von 3000 PS_e, 35 at, 430° und 3000 Uml./min.

A. Borsig G. m. b. H., Berlin-Tegel, baut gegenwärtig nach W. Schmidts Patenten eine Gegendruckmaschine für 60 at Anfangs- und 10 at Gegendruck, die je einen einfach wirkenden Hochdruck- und Niederdruckzylinder erhält. Die Maschine arbeitet mit 90 bis 120 Uml./min, und leistet dabei 820 PS_i. Ihre Bauart ist der von Hartmann in der VdI-Zeitschrift Bd. 65 (1921) Nr. 26 S. 671, Abb. 34, beschriebenen Schmidtschen Versuchsmaschine ähnlich.

Da später gezeigt werden wird, daß die wirtschaftliche Verwertung des Hochdruckdampfes, wenn er in vollkommenster Weise ausgenutzt werden soll, noch andere technische Nebeneinrichtungen erfordert, so wird man der Meinung sein dürfen, daß sich die Anwendung von Hochdruckdampf nicht für kleinere Anlagen eignet. Dies gilt insbesondere dann, wenn er nicht durch eine Kolbenmaschine, sondern durch eine Dampfturbine ausgenutzt werden soll.

Bei den heutigen Turbinenkonstruktionen steht umgekehrt wie bei der Kolbenmaschine der Überdruckteil im Aufbau und Wirkungsgrad hinter dem Unterdruckteil zurück. Die heutigen Turbinenkonstruktionen sind daher ungeeignet, das nach oben bedeutend vergrößerte Wärmegefälle auszunutzen. Sie haben fast alle das Kennzeichen, daß in der ersten Stufe der Dampf stark entspannt wird, damit im Gehäuse niedriger Druck und niedrige Temperatur herrschen. Die starke Herabsetzung von Druck und Temperatur bedingt eine hohe Dampfgeschwindigkeit c beim Austritt aus den Düsen, und dies verschlechtert, da man die Umfangsgeschwindigkeit u nicht erhöhen kann, das Geschwindigkeitsverhältnis $\frac{u}{c}$ und dadurch den Wirkungsgrad. Man verlangt heute vom Niederdruckteil der Dampfturbine, daß er gewisse hierdurch bedingte Verluste der Überdruckstufe mittels der rückgewonnenen Wärme wieder gutmacht. Soll daher das durch den Übergang auf den Hoch- und Höchstdruckbetrieb stark angewachsene Wärmegefälle im Hochdruckteil mit einem gleich hohen Gütegrad wie im Mitteldruckteil ausgenutzt werden, so ist es notwendig, den ersteren aus der heute eingehäusigen Maschine herauszunehmen und ihn in einer besonderen Hochdruckturbine zu entwickeln. Diesen Weg haben alle Firmen eingeschlagen, die Hoch- und Höchstdruckdampf in Dampfturbinen ausnutzen.

De Laval hat bereits 1899 einen Kessel für 120 at und 350 ° und eine Dampfturbine seiner ursprünglichen Bauart, die mit 100 at arbeitete, ausgeführt. Die Zeit war damals für diese Neuerung noch nicht reif. Als erste hat auch jetzt wieder die Dampfturbinen-Gesellschaft de Laval in Stockholm eine Hochdruckturbine in Betrieb genommen; sie hat in der Zuckerraffinerie Carnegie in Gotenburg seit zwei Jahren eine 600 PS-Gegendruckturbine im Betrieb, welche mit 50 at Anfangsdruck, 420 ° und 3 at Gegendruck arbeitet. Der Frischdampf wird von einem Atmos-Kessel mit 60 at geliefert. Gelegentlich einer Besichtigung dieser Anlage in Gotenburg im August vorigen Jahres konnte ich mich davon überzeugen, daß Turbine und Kessel in allen Teilen anstandslos gearbeitet haben. Die Turbine mit ihrem Stromerzeuger ist in Abb. 13 dargestellt. Sie hat 4 Räder, die fliegend auf einer Ritzelwelle sitzen, um die Hochdruckstopfbüchse zu vermeiden, und die mit 6000 Uml./min laufen. Der Stromerzeuger wird mittels Zahnradvorgeleges angetrieben, das die Drehzahl auf 3000 Uml./min heruntersetzt. Man erkennt den geringen Querschnitt der Frischdampfleitung und die geringen Abmessungen der Turbine gegenüber dem Stromerzeuger. Seit Oktober 1923 ist ein größerer Atmos-Kessel von 110 at im Betrieb, der vorläufig gedrosselten Dampf von 50 at in die Turbine schickt, bis eine neue Turbine von 100 at geliefert ist.

Brown Boveri & Co. haben ebenfalls eine besondere Hochdruckturbine als Vorschaltturbine ausgebildet. Diese wird dadurch zu einer Gegendruckturbine, deren Gegendruck dem üblichen Frischdampfdruck entspricht. Mit der de Laval-Turbine hat diese Bauart die hohe Drehzahl der Turbinenwelle und das Zahnradvorgelege gemeinsam, ferner die fliegende Anordnung der Räder unmittelbar auf der Ritzelwelle. Die Raddurchmesser werden klein gehalten, die Räder bei günstigen Schaufelhöhen in der Regel voll beaufschlagt. Die Umfangsgeschwindigkeit ist viel geringer als bei normalen Scheibenturbinen, wodurch Radreibung und Ventilationsverluste auch bei dem dichten Hochdruckdampf niedrig bleiben. Die in jedem Rad umgesetzten Gefälle sind gering. Näheres über die Bauart dieser Vorschaltturbinen ist in dem Aufsatz von Noack, Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52 S. 1155 enthalten, so daß ich mich darauf beziehen kann. Um die hohen Drücke und die hohen Temperaturen zu bewältigen, wendet man besondere Baustoffe und geringe Beanspruchungen an. Die fliegende Anordnung erspart die Dichtung der Welle auf der Seite des Dampfzutritts, so daß man die Welle nur nach der Ritzelseite hin zu dichten braucht. Hierzu dient eine Labyrinthstopfbüchse; das benachbarte Lager wird durch das Kondensat gekühlt, und dieses nimmt auch den Leckdampf der Stopfbüchse auf. Hierdurch wird die Wärme dem Kreislauf erhalten. Eine im Bau befindliche Hochdruckanlage dieser Art erhält eine Vorschaltturbine von 2000 kW-Leistung, die einem bestehenden neueren Kraftwerk in Belgien vorgeschaltet wird. Der Dampfdruck der Hochdruckturbine beträgt 50 at, die Überhitzung vor der Turbine 440 °C, der Gegendruck 13 at.

Eine andere neue Bauart zur Verarbeitung des im Überdruckgebiet liegenden üblichen und höheren Wärmegefälles stellt die Brünner Turbine dar; sie verwendet dazu zwei bis drei voneinander getrennte, in derselben Achsenrichtung gekuppelte Teilturbinen mit einer Drehzahl des Stromerzeugers von 3000 Uml./min. Jede Teilturbine besteht aus einer größeren Anzahl von Stufen, und die dazugehörigen Wellen sind beiderseitig gelagert. Dies zwingt dazu, auch auf der Eintrittseite des Dampfes eine Stopfbüchse auszuführen, also gegen Höchstdruck zu dichten. Die Turbine ist in ihrem Grundauf-

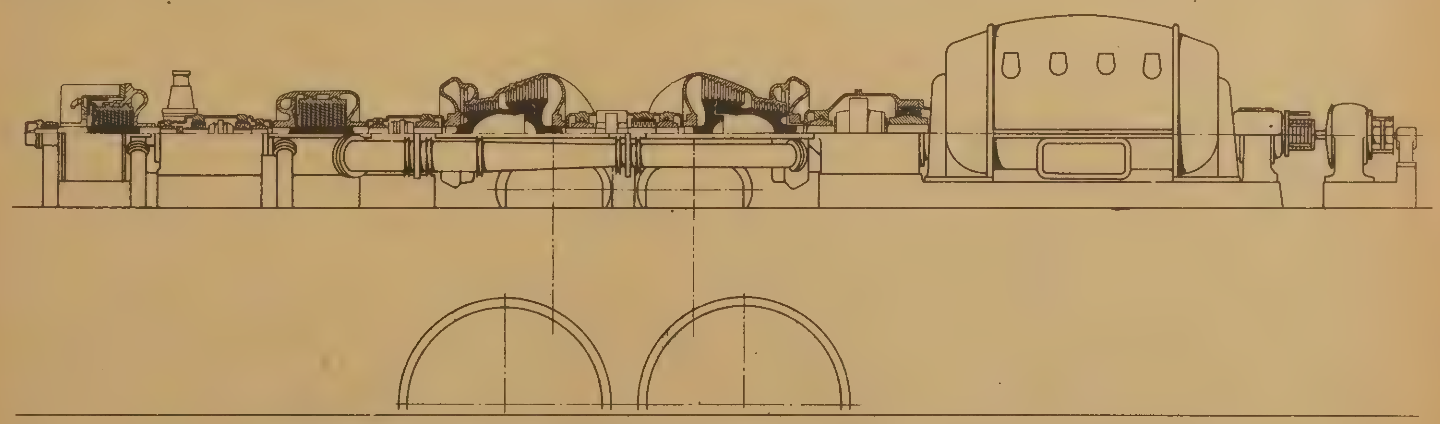


Abb. 17. Vierfach-Expansions-Turbine mit geteiltem Niederdruckzylinder. 16000 kW, 3000 Uml./min, 30 at Überdr. 400 °C.

au bereits in Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52 S. 1163 beschrieben. Die Bauart bezweckt die Verarbeitung hoher und mittlerer Dampfdrücke im Überdruckgebiet und hoher Dampftemperaturen mit utem thermodynamischem Wirkungsgrad. Die an der gleichen stelle mitgeteilten Versuche von Stodola und dem Verfasser an iner Gegendruckturbine von 12 at, 394° und 1,5 at Gegendruck aben einen Dampfverbrauch von 8,8 kg/kWh und einen Güterad, bezogen auf die Kupplung, von 82 vH ergeben. Die Ver-

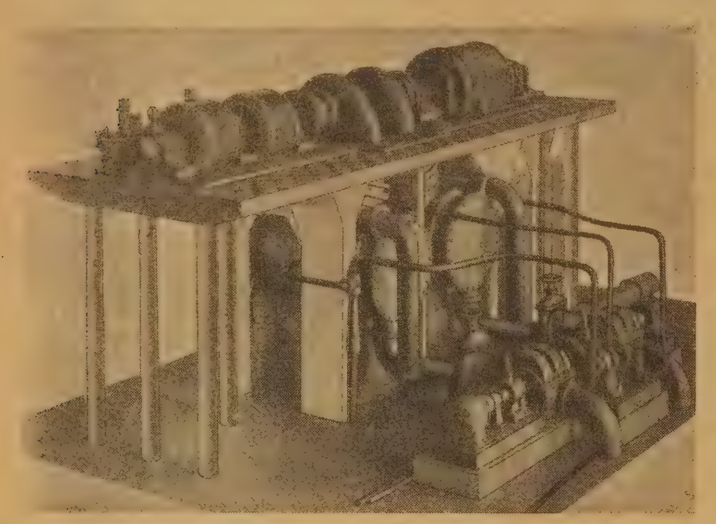


Abb. 18. Modell der Turbinenanlage Abb. 17.

hsergebnisse sind in Zahlentafel 1 kurz zusammengestellt. amit ist ein Fortschritt erzielt, den man im Dampfturbinenbau s vor kurzem nicht für möglich gehalten haben würde und der Energieausbeute aus Normal- und Hochdampfdruck namenth bei Gegendruckbetrieb gewaltig steigert.

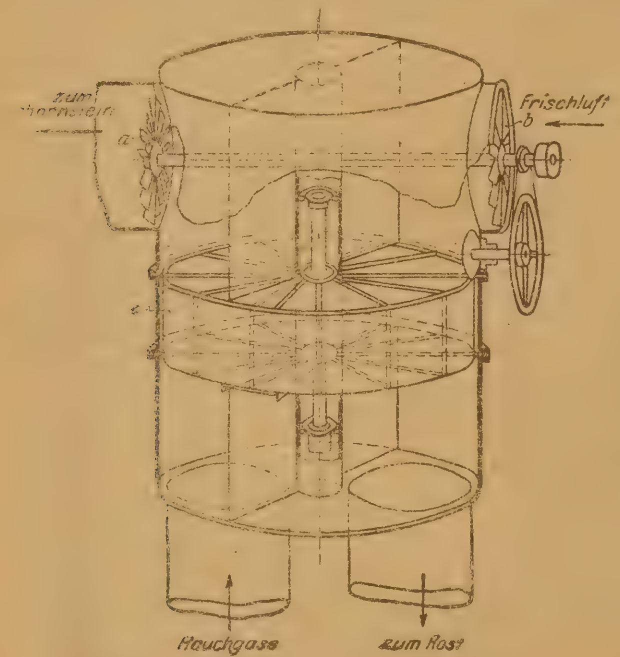


Abb. 19. Luftvorwärmer für Dampfkesselfeuerung.

hlentafel 1. Hauptergebnisse der Mai-Versuche einer 2500 kW-Brünner Turbine in der Nestomitzer Zuckerraffinerie.

istung an den Dynamoklemmen	kW	2489
ck } vor dem Haupteinlaßventil	at abs.	13,7
mpftemperatur } vor dem Haupteinlaßventil	°C	394
gendruck	at abs.	1,51
utliche Umlaufzahl der Turbine	Uml./min	3000
mpfverbrauch für 1 kWh a. d. Dynamoklemmen	kg/kWh	8,82
tegrad der Turbodynamo bz. auf Klemmenleistung und Zustand vor Haupteinlaßventil		0,78
Gütegrad der Turbine bz. auf Leistung an der Kupplung und Zustand vor dem Haupteinlaßventil		0,82

Um die hohen Drücke in der ersten Radkammer bewältigen zu können, war die Konstruktion einer neuen Stopfbüchse, anderer Leitapparate, eines neuen Inneneinbaues der Leitapparate sowie eines anderen Gehäuses nötig. Die Leiträder werden durch ein besonderes zweiteiliges Traggehäuse gehalten, das mittels einer über den ganzen Umfang laufenden Mittelrippe von dem äußeren Festigkeitsmantel gefaßt wird. Zwischen dem Festigkeitsmantel und dem zweiteiligen Traggehäuse befindet sich Dampf von hoher Spannung, wodurch die beiden Hälften des Gehäuses gedichtet werden und die Ausdehnung der Gehäuseteile infolge der Wärme zum großen Teil ausgeglichen und unschädlich gemacht wird. Das Festigkeitsgehäuse, das eine einfache zylindrische Form hat, wird bei normalen Drücken aus Stahl gegossen, bei höheren Drücken aus Stahl gepreßt. Abb. 14 und 15 zeigen das zweiteilige Traggehäuse, den gepreßten Stahlmantel und die wegen der erforderlichen Nachgiebigkeit in zahlreiche kleine Rohre geteilten Zuströmungen.

Abb. 16 zeigt den Aufbau einer Brünner Anzapf-Gegendruckturbine von 3000 PS, 35 at, 430° und 3000 Uml./min und läßt erkennen, wie jede Teilturbine selbständig für sich ausgebildet und mit der zweiten gekuppelt ist. Diese Anordnung beschränkt die in jeder Teilturbine auftretenden Temperaturunterschiede und erleichtert die Anzapfung und den Einbau eines Ruths-Wärmespeichers, der bei Höchstdruckdampf infolge der geringen Wasser- und Dampfräume in den Betriebskesseln bei schwankender Belastung unentbehrlich ist.

Abb. 17 zeigt eine Brünner Dreistufenturbine mit Kondensation und geteiltem Niederdruckteil von 16 000 kW, 30 at, 400 °C, 3000 Uml./min für die Utrechter Stromlieferungsgesellschaft, gebaut von Gebr. Stork in Hengelo. Um den Auslaßverlust auf ein Mindestmaß zu bringen und große Abströmrohrquerschnitte

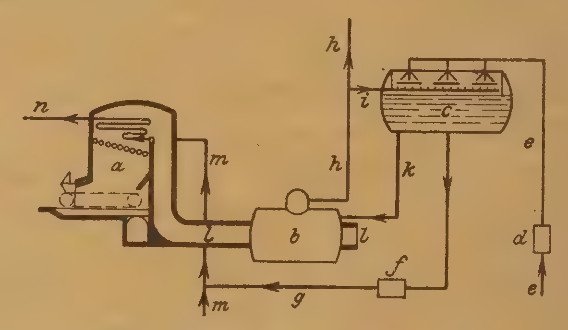


Abb. 20. Abhitzekessel von Hoffmann-Olbrich.

a Hochdruckkessel
b Abhitzekessel ohne Wasserraum für Niederdruckdampf
c Heißwasserbehälter
d Kaltwasser-NDr.-Speisepumpe
e Kaltwasser-Einspritzleitung
f Heißwasser-HDr.-Speisepumpe
g Hochdruck-Zusatz-Speiseleitung
h NDr.-Dampfleitung
i Abzweig zur Speisewasser-Vorwärmung
k Heißwasser-Einspritzleitung
l Rauchkanal
m vom Speisewasservorwärmer mit Anzapfdampf
n Hochdruckdampfleitung

zu erhalten, verarbeitet die Brünner Bauart das Wärmegefälle im Niederdruckgebiet bei größeren Leistungen in zwei, unter Umständen auch in drei miteinander gekuppelten, parallel geschalteten Niederdruckturbinen. Abb. 18 zeigt die gleiche Turbine mit der Kondensation im fertigen Aufbau. Jede Niederdruckturbine hat zwei reichlich bemessene Ausströmrohre, die so über je einem Oberflächenkondensator sitzen, daß sämtliche Teile der Kühlrohre von dem Dampfstrom berührt und somit tote Ecken vermieden werden. Sollen höhere Drücke als diejenigen der beiden oben erwähnten Turbinen nach Brünner Bauart, also mit sehr geringen Dampfgeschwindigkeiten, verarbeitet werden, so muß entweder die Anzahl der Stufen in einer der Teilturbinen weiter vermehrt oder noch eine Teilturbine vorgeschaltet werden. Die weitere Entwicklung wird zeigen, ob die erste Stufe von 100 at bis 50 at sich nach der Brünner Bauart oder nach der von de Laval oder Brown Boveri & Cie. durchsetzen wird. Für das Mitteldruckgebiet und einen Teil des Hochdruckgebietes bedeutet die Brünner Bauart einen bedeutsamen Fortschritt, der allerdings durch höhere Erstellungskosten und größeren Raumbedarf erkauft wird. Dieser Unterschied gegenüber den Turbinen üblicher Bauart wird aber reichlich aufgewogen durch die wesentlich bessere Dampfausnutzung.

Da man letzten Endes den Fortschritt in der Ausnutzung des Dampfes, wie oben ausgeführt, in der Verminderung der in den Kondensator abgeführten Wärme zu sehen hat, wie dies in vollkommenster Weise bei Gegendruckbetrieb verwirklicht wird, so ist noch auf eine auch in dieser Richtung wirkende Einrichtung hinzuweisen, nämlich auf die Speisewasservorwärmung durch stufenweise entnommenen Anzapfdampf, wodurch die Verdampfungswärme teilweise zurückgewonnen wird. Diese an sich längst bekannte Einrichtung wird um so bedeutungsvoller, je höher der Anfangsdruck ist, weil damit die Flüssigkeitswärme und mit dieser die dem Kondensator entrissene und dem Kreislauf nutzbar gemachte Wärme steigt. In der Veröffentlichung von Noack Z. Bd. 67 (1923) S. 1154 ist das Wesen der stufenweisen Vorwärmung eingehend auseinandergesetzt, und es kann darauf verwiesen werden. Darüber von mir angestellte Untersuchungen haben ergeben, daß diese Vorwärmung umso wirtschaftlicher ist, je mehr Arbeit der Dampf vor der Anzapfung ge-

leistet hat, und sie stimmen bezüglich der Stufenzahl mit den Angaben von Noack überein, daß die Komplikation größerer Stufenzahl sich nicht lohnt. Eine weitere Bedeutung dieser Vorwärmung liegt für große Einheiten in der Entlastung des letzten Turbinenrades von Dampf.

Diese stufenweise Vorwärmung durch Anzapfung bedeutet allerdings eine Komplikation, die außerdem noch eine weitere zur Folge hat; man wird daher die Zahl der Stufen in der Praxis beschränken. Die Anordnung hat außerdem zur Folge, daß die Ausnutzung der Rauchgase ganz oder wenigstens zum großen Teil für die Vorwärmung des Speisewassers ausgeschaltet und man gezwungen wird, nach einer andern Ausnutzung der Kesselabgase zu suchen. Eine solche ist möglich durch die Vorwärmung der Verbrennungsluft oder durch den Betrieb eines Abhitzekessels zur Erzeugung von niedrig gespanntem Dampf. Der erste Weg hat durch den Ljungströmschen Rauchgasluftvorwärmer eine konstruktiv sehr beachtenswerte und einfache Lösung gefunden. In Abb. 19 ist der Vorwärmer dargestellt. Die Rauchgase durchströmen einen Teil eines langsam umlaufenden metallenen, wärmeaufnehmenden Körpers und erwärmen ihn, so daß er nach einer gewissen Drehung, bei der er nun von der vorzuwärmenden Luft in umgekehrter Richtung durchströmt wird, in der Lage ist, an diese seine Wärme wieder abzugeben und sie vorzuwärmen. Die Rugby-Versuchsanlage[1]) erhält einen Rauchgasluftvorwärmer anderer Bauart. Die oben erwähnte Vorschaltturbine von Brown, Boveri & Cie für das belgische Kraftwerk erwärmt das Speisewaser durch Anzapfdampf auf 196 °; die Verbrennungsluft wird durch Rauchgase mittels eines aus England bezogenen Vorwärmers auf 130 °C vorgewärmt. Die Verbesserung gegenüber der bestehenden Anlage durch die Vorschaltung des Hochdruckbetriebes und die angedeuteten Einrichtungen werden auf etwa 30 vH veranschlagt, obschon auch die vorhandene Anlage eine neuzeitliche Bauart darstellt.

Versuche über den wirtschaftlichen Erfolg der Vorwärmung der Verbrennungsluft sind in dem Colfax-Kraftwerk[2]) in Amerika ausgeführt worden; bei diesen Versuchen hat man eine Steigerung der Ausnutzung um 6 bis 7 vH bei mäßigen Anlage- und Unterhaltungskosten festgestellt.

Eine andere Art der Ausnutzung der Abgase der Betriebskessel besteht im Einbau eines Abhitzekessels nach Hoffmann-Olbricht; in Böhmen sind mehrere solcher Anlagen im Bau. Der Abhitzekessel hat keinen Wasserinhalt, er besteht vielmehr aus Rohren, die außen von den Rauchgasen bestrichen werden. Das durch Dampf auf Siedetemperatur erhitzte Speisewasser wird nach Maßgabe der verlangten Dampferzeugung in die Rohre eingespritzt, und der erzeugte Niederdruckdampf dient einesteils zum Vorwärmen des Speisewassers für den Abhitzekessel, andernteils wird er für industrielle Zwecke verwendet, oder in die Stufe einer Turbine eingeleitet; ein Schema der Anlage gibt Abb. 20 wieder.

Fassen wir das Ergebnis der vorstehenden Ausführungen zusammen, so können wir nicht umhin, den gewaltigen Fortschritt festzustellen, der mit der Verarbeitung des Hoch- und Höchstdruckdampfes erzielbar ist. Zwar ist das abschließende wirtschaftliche Bild erst möglich, wenn man außer den bisher betrachteten thermischen Verhältnissen auch die Anlage- und Betriebskosten und den Zinsendienst berücksichtigt. Es scheint aber, daß diese in einer Größenordnung liegen, die den Erfolg nicht wesentlich beeinträchtigen. Nachdem es gelungen ist, hochwertige Hochdruckturbinen zu bauen, scheint die Zukunft bei der Verarbeitung des Hoch- und Höchstdruckdampfes bei der Turbine zu liegen, da Hochdruckanlagen mit den Nebeneinrichtungen nur für größere Leistungen in Betracht kommen.

Ganz gewaltig macht sich der Fortschritt durch Übergang auf Hochdruckdampf beim Gegendruckbetrieb geltend, jede Drucksteigerung bis zu 100 at und mehr erhöht hier die Ausnutzung. Bei Kondensation ist die Verbesserung in der Wärmeausnutzung durch Aufstocken des Druckes geringer als bei Gegendruck, aber bis zu etwa 60 at immer noch so bedeutend, daß die Kraftwerke diese Möglichkeit, ihre Brennstoffausnutzung und ihre Leistung zu erhöhen, nicht unbeachtet lassen dürfen. Namentlich die Vorschaltung der Hochdruckanlage unter Beibehaltung der vorhandenen Turbinen erhöht Leistung und Wirtschaftlichkeit zugleich. Ob dabei über diesen Druck hinaus noch eine Wirtschaftlichkeit zu erreichen ist, kann erst die Erfahrung lehren. Die Entwicklung — vor allem die großer Elektrizitätswerke — wird in dem Zusammenschluß mit wärmeverbrauchenden Industrien liegen, wobei die Krafterzeugung in Hochdruck-Gegendruckmaschinen erfolgt. Sehr interessant ist das Benson-Arbeitsverfahren, das Dampf mit kritischem Druck, also geringster Erzeugungswärme erzeugt und bei niedrigerem Druck, also mit geringerer Überhitzungswärme, überhitzt. Die Ausnutzungsmöglichkeiten dieses Höchstdruckdampfes scheinen damit noch nicht erschöpft.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) Nr. 52 S. 1167. [2]) Power, 4. Dezember 1923 S. 902.

Die DaWa-Heizung.

Im „Gesundheitsingenieur" vom 11. August 1923 berichtet Prof. Dr. Karl Brabée, zurzeit in New-York, über eine Dampfwarmwasser- (DaWa)-Heizung der Zähler-Heizungs-Gesellschaft m. b. H., Wien. Nach der Schilderung sind die Vorzüge geradezu verblüffend, zumal alle ernsten Sachverständigen genau wissen, wo die Schwächen unsrer bisherigen Heizungssysteme liegen. Es ist erklärlich und dankenswert, in einer Zeit größter Brennstoffnot auf Neuerungen hinzuweisen. Aber die Geldknappheit hat die Kohlenknappheit überwuchert, so daß mit Neuanschaffungen nicht viel zu machen sein wird. Ob die im folgenden kurz beschriebene DaWa-Heizung billiger als unsre geläufigen Niederdruckdampf- und Warmwasser-Heizungen wird, ist zweifelhaft.

Ein Niederdruck-Dampfkessel steht mit den Heizkörpern durch je ein Standrohr derart in Verbindung, daß mit der Entwicklung des Dampfes das aus dem Standrohr verdrängte Wasser in dem Heizkörper hochsteigen kann. Die Senkung des Wasserspiegels im Standrohr entspricht dem Dampfdruck vor dem Heizkörper, dessen Wärmeleistung mit der Regelung des Dampfdrucks weitestgehend verändert werden kann. Das Rohrnetz im Vorlauf gleicht also einer Niederdruck-Dampfheizung, während der Rücklauf zum Heizkessel nicht der peinlichen Berechnung einer Warmwasserheizung unterworfen ist.

Nach den Doktorarbeiten von Werner und Frenckel ist eine generelle Regelung der Niederdruck-Dampfheizung unmöglich, weil wir mit dem störenden Einfluß durch Abstellen benachbarter Heizkörper rechnen müssen. Bei dem DaWa-System ist nach Brabbée ein „Durchschlagen" des Heizkörpers weniger zu befürchten; es würde höchstens die Heizkörperleistung um wenige Hundertteile schwanken. Zur Einhaltung dieser Grenze enthält das System einen Dampfdruckregler, von dem nur erwähnt werden soll, daß die Regelung durch eine Wassersäule besorgt wird, die von der Ursprungstellung verschoben wird. Außer dem Druckregler enthält die DaWa-Heizung noch einen Wasserstandregler, der den Wasserstand im Kessel möglichst unverändert hält. Ist schon der Dampfdruckregler in seinen Teilen nicht ganz übersichtlich, so gilt dies im gleichen Maße von dem Wasserstandregler mit seinen Schlammtöpfen, dem Wärmezähler und dem Rücklaufsammler. Eine vielteilige Apparatur bürgt meist nicht für genaue Wirkung in der Praxis.

Prof. Brabbée legt auf die Verwendung von Heizkörpern mit geringem Wasserinhalt besonderes Gewicht, weil diese die Trägheit des Heizsystems verringern. Durch Heizkörper mit geringem Wasserinhalt wird die Anheizzeit abgekürzt und das unter Umständen lästige Nachwirken der Heizung nach ihrem Abstellen beseitigt. Die Heizkörper selbst sind bei der DaWa-Heizung als Kleinwaserraum-Radiatoren ausgebildet. Die Temperaturzonen im Heizkörper stellen sich schichtweise ein, d. h. sie haben bei stärkster Belastung nach dem Berichterstatter im Mittel oben 85, in der Mitte 82, unten 69 °, während bei niedrigen Dampfdrücken nur eine dünne Schicht der Heizkörper-Oberfläche eine Temperatur von etwa 70 bis 80 ° aufweist.

Man muß sich zunächst grundsätzlich klar sein, daß die Verbesserung in der Beheizung unsrer Räume nicht in der Schaffung neuer Heizungsarten zu suchen ist. Für uns ist einzig und allein die Brennstoffnot maßgebend, und deshalb dürften wir uns wohl in Zukunft mehr der Aufgabe widmen, den Wärmebedarf unserer Wohnräume so weit wie möglich zu verringern. Wir können heute schon durch Isolierung der Umfassungswände mit Thermosplatten wirtschaftlich viel mehr erreichen als durch Ersatz unsrer bisher bewährten Heizungsarten durch eine andre; denn letzten Endes kommt es doch immer auf die Einstellung des Druckreglers dem Heizungsbedarf entsprechend an, die unter Umständen sogar auf Kosten des Kesselwirkungsgrades ausfallen kann. Aber auch der Schornsteinzug ist keine gleichbleibende Größe, sondern abhängig von den Witterungs- und Temperaturverhältnissen, für die dem Druckregler die Feinfühligkeit fehlt. Ist er jeweilig nicht richtig eingestellt, dann können die Wohnräume auch bei der DaWa-Heizung überhitzt und dadurch Brennstoff verschwendet werden.

Nehmen wir selbst an, daß wir durch einen verwickelten Apparat es fertig brächten, die Temperatur der Außenluft für die Einstellung des Druckreglers zu benutzen (Vetter), so würde auch diese Einrichtung in dem Augenblick versagen müssen, wo Eingriffe in den Verbrennungsvorgang mit Haken und Schürstange oder eine erneute Beschickung eine Verstellung des Druckreglers von Hand aus bedingen. In dieser Beziehung hat also der DaWa-Druckregler vor den üblichen Druckreglern nichts voraus. Die Brennschicht auf dem Rost eines Heizkessels weist Trocken-, Entgasungs- und Verbrennungszonen auf, die bei schlechtem Brand, z. B. bei feuchtem Brennstoff, Störungen mit sich bringen, die auch durch vermehrte Luftzuführung nicht beseitigt werden können.

Ich bin weit davon entfernt, einer Neuerung von vornherein ihren Wert abzusprechen, würde es vielmehr mit Freuden begrüßen, wenn nach dem neuen System recht viele Anlagen gebaut würden, um weitere Erfahrungen zu sammeln. Fest steht jedenfalls die Tatsache, daß unsre bewährten Heizarten in manchen Punkten verbesserungsbedürftig sind. Die kalte Luft befindet sich am Fußboden. Hier muß sie sofort mit der heißesten Heizkörperzone zusammenkommen. Ihre schnelle Erwärmung veranlaßt eine größere Geschwindigkeit beim Emporsteigen und dadurch eine bedeutend bessere Wärmeabgabe des Heizkörpers. Bei der DaWa-Heizung ist es umgekehrt; auch scheint mit diesem System die grundsätzliche Regelung des Dampfdruckes im Rohrnetz noch lange nicht gelöst, ebenso wie die vollkommene Geräuschlosigkeit schwer erlangt werden dürfte. [M 536]

Berlin, Oktober 1923. de Grahl.

Die Siemens-Schuckert-Lokomotiven auf der schwedischen Riksgränsbahn.

Von Oberingenieur F. Kuntze, Berlin.

Es wird eine kurze Übersicht über die ersten 1 C + C 1-Lokomotiven der Riksgränsbahn, sowie einige mit ihnen erzielte Betriebsergebnisse gegeben. Die neuen 1 C + C 1-Lokomotiven werden beschrieben und Angaben hinsichtlich ihrer Bewährung gegenüber den an sie gestellten hohen Betriebsanforderungen gemacht.

Nachdem nunmehr die Erztransportbahn Lulea-Narvik in ihrer gesamten Streckenlänge von 475 km, Abb. 1 und 2, aus dem Dampfbetrieb in rein elektrischen Betrieb übergeführt ist, erscheint es angezeigt, einen Rückblick auf die bewältigte Arbeit, in Sonderheit hinsichtlich der Triebmittel, zu geben. Zuvor sei noch erwähnt, daß der erste und bedeutsamste Schritt zur Elektrisierung der Bahn mit der Einführung der elektrischen Zugförderung auf dem nördlichen Abschnitt Kiruna-Riksgränsen, der den dichtesten und schwersten Erzzugverkehr aufweist, gemacht worden ist[1]). Diese erste Elektrisierung einer schwedischen Vollbahn wurde von den Siemens-Schuckert-Werken als Hauptlieferanten in den Jahren 1912 bis 1914 durchgeführt unter Übernahme weitgehender technischer und finanzieller Gewährleistung. Die gelieferten Anlageteile sind mehr als 8 Jahre in Betrieb und haben sich in dieser Zeit voll bewährt.

Die bei Kiruna sich südlich anschließende Strecke über Gellivare nach Lulea konnte im Sommer 1922 in ihrer ganzen Länge (306 km) dem elektrischen Betrieb übergeben werden. Seit August 1923 wird auch der kurze norwegische Abschnitt Riksgränsen-Narvik (40 km) elektrisch betrieben. Hierfür erhielten die Siemens-Schuckert-Werke von der Norwegischen Staatsbahn 2 Lokomotiven der Bauart 1 C + C 1 mit Rückspeisung in Auftrag.

Die ersten 1 C + C 1-Lokomotiven.

Der grundlegenden Bedeutung des Erzverkehrs entsprechend, demgegenüber der sehr schwache Personenverkehr völlig in den Hintergrund tritt, stellten die Erzzuglokomotiven die bedeutungsvollste Lieferung dar. Es wurden insgesamt 13 Lokomotiven der Bauart 1 C + C 1 für den ersten Ausbau gebraucht, die sämtlich einheitlich nach den Konstruktionszeichnungen der SSW ausgeführt worden sind. Der Anteil der SSW an der Lieferung selbst betrug 11 Lokomotiven.

Die wesentlichen Konstruktionszahlen der 1 C + C 1-Lokomotiven, Abb. 3, des ersten Ausbaus sind folgende:

Größte Länge über den Puffern	18 620	mm
Größte Zugkraft	21	t
Gesamtgewicht	138	„
Triebachsdruck	17,5	„
Reibungsgewicht	105	„
Größte Geschwindigkeit unter Strom	50	km/h
Größte Geschwindigkeit im Leerlauf	60	km/h
Zahl der Triebmotoren einer Lokomotive	2	

Die Lokomotiven wurden zur Erzielung guter Krümmungsläufigkeit als kurzgekuppelte Doppellokomotiven gebaut, deren Hälften vollkommen gleich ausgebildet sind. Jede Lokomotivhälfte hat einen hochgelagerten, langsamlaufenden Motor, Abb. 4, der mittels Triebstange auf eine in Kuppelachsmitte gelagerte Blindwelle arbeitet. Über die ganze Länge einer Lokomotivhälfte zieht sich das Lokomotivhaus hin. Es besteht aus drei völlig voneinander getrennten Abteilungen, nämlich Führerstand, Transformatoren- und Geräteraum sowie Maschinenraum. Der Maschinenraum ist vom Geräte- und Transformatorenraum getrennt, damit die Kühlluft in einen bestimmt vorgeschriebenen Weg gezwungen und so eine möglichst wirksame Lüftung erreicht wird. Die Luft wird mittels eines Gebläses unter dem Transformator angesaugt, umspült diesen und die Schaltapparate, strömt durch den Motor und gelangt dann in den Kollektorraum, von wo aus die erwärmte Luft angesaugt und durch das Dach abgeführt wird.

[1]) Vergl. Z. Bd. 64 (1920) S. 181 und 205, Elektr. Kraftbetr. u. Bahnen Bd. XII (1914) S. 161 und Bd. XIV (1916) S. 97. S. a. Sonderdruck der SSW AB 67.

Der Motor ist ein einfacher Reihenschlußmotor mit Hilfserregung; Widerstandsverbindungen zwischen den Ankerspulen und dem Kommutator sind nicht vorhanden. Die Motoren und die ganze Schaltausrüstung arbeiten derart sicher, daß Fahrleistungen bis 12 000 km im Monat erzielt werden.

Betrieb mit den ersten Lokomotiven.

Bestimmend für die Leistungsfähigkeit der Erzzuglokomotiven waren Fahrpläne, deren Fahrzeiten auch dann eingehalten werden müssen, wenn Aufenthalte auf jeder Haltestelle entstehen. Der volle Fahrplan sah die Beförderung einer Jahresmenge von etwa 5 Mill. t Erz bei 18stündiger Betriebzeit vor. Zwei Doppellokomotiven sollten einen beladenen Erzzug von 1854 t Wagengewicht je zweimal an einem Betriebstage zwischen Kiruna und Riksgränsen befördern. Es war eine Zugbildung maßgebend, wie sie durch Abb. 5 gekennzeichnet ist. Die Lokomotiven sind für Vielfachsteuerung eingerichtet; sie werden aber in der in Abb. 5 dargestellten Zusammenstellung vollständig getrennt von je einem Führer bedient — eine etwas ungewöhnliche Art der Zugbeförderung, die zu Kupplungsbrüchen Veranlassung geben kann, sobald das Personal nicht gut eingeübt ist. Da die Hinfahrt mit vollbeladenem Zuge stattfindet, so wird auf ihr die volle Leistung der Lokomotiven in Anspruch genommen. Auf der Rückfahrt dagegen sind nur Leerzüge im Wagengewicht von je 450 t zu befördern, so daß eine Lokomotive als Zuglokomotive genügt und die zweite leer mitgeschleppt wird. Den Dienst muß jede Erzzuglokomotive sechs Tage hintereinander ausführen können; sie muß hierbei mindestens 90 000 km jährlich zurücklegen.

Wesentlich erschwert ist der Betrieb auf der Riksgränsbahn durch strenge Kälte und große Schneemassen, Abb. 7. Bei einer Außentemperatur von — 25 ° bis — 35 ° kann schon während eines kürzeren Aufenthaltes des Zuges das Lageröl der Erzwagen erstarren. Daher sind in solchen Fällen zum Wiederingangsetzen des ganzen Zuges außerordentlich große Zugkräfte und geschickte Führung erforderlich.

Nachdem die Herstellung der Lokomotiven und der übrigen Anlageteile zu Beginn des Jahres 1915 in vollem Umfange beendet war, konnte im August 1915 der vorgeschriebene Abnahmebetrieb mit acht Erzzugpaaren täglich einen vollen Monat lang durchgeführt werden. Anfang September 1915 ging die Gesamtanlage in den endgültigen Besitz der schwedischen Staatsbahn über. Im Verlaufe des vertragsmäßigen Betriebes und bis zur Beendigung der Gewährleistung hat es sich nun gezeigt, daß die von den SSW ausgerüsteten Erzzuglokomotiven erheblich überlastungsfähig waren. NachAblauf



Abb. 1. Strecke der Erztransportbahn Lulea-Narvik.

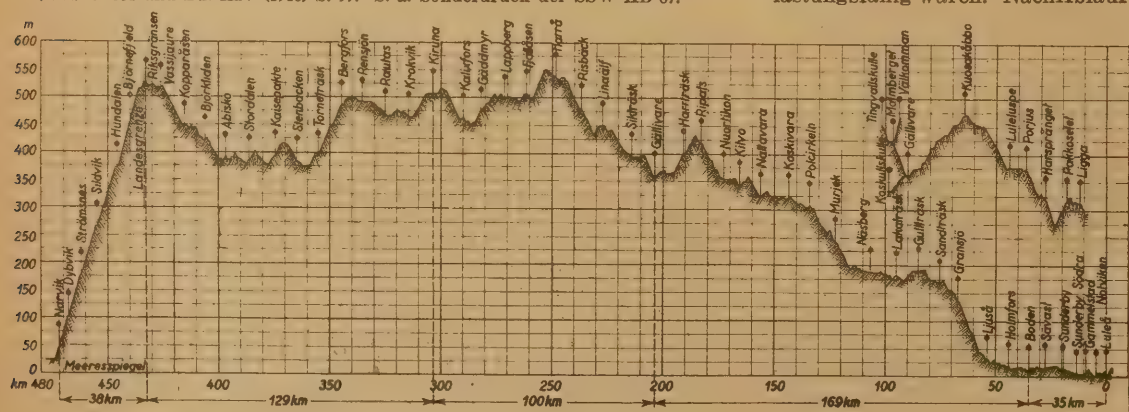


Abb. 2. Höhenprofil der Strecke Lulea-Narvik

der Unterhaltungsgewähr wurde durch erneute Probefahrten festgestellt, daß eine Erhöhung der Zuggewichte um nicht weniger als 50 vH unbedenklich vorgenommen werden konnte, d. h. eine Lokomotive vermochte 30, statt bis dahin 20 Erzwagen, s. Abb. 6, nach unverändertem Fahrplane zu befördern. Diese höhere Leistungsfähigkeit wird seit Anfang des Jahres 1918 in vollem Umfange ausgenutzt. Es hat zweifellos große Vorzüge, die Schublokomotive ersparen zu können, zumal da diese bei der Rückfahrt von Riksgränsen nach Kiruna leer mitgeschleppt werden muß. Daher lag der Gedanke nahe, bei Erbauung neuer Lokomotiven auf eine Steigerung der Leistung in dem Umfange hinzuarbeiten, daß wieder unter voller Ausnutzung der Bahnhoflängen Züge von 40 Erzwagen mit n u r e i n e r Lokomotive der Bauart 1 C + C 1 befördert werden können.

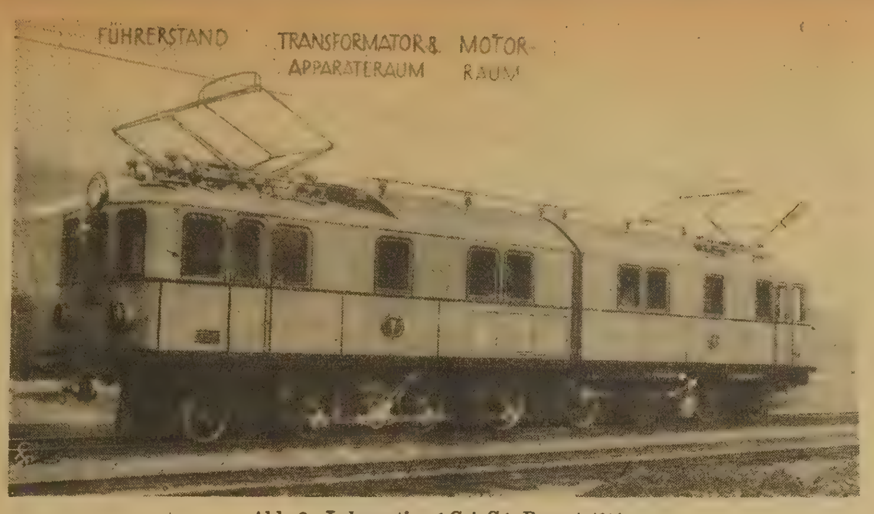


Abb. 8. Lokomotive 1 C + C 1, Bauart 1914.

294 m

214 m

Abb. 5 und 6. Längen der Erzzüge.
Gewichte der Erzzüge (einschl. Lokomotive)

40-Wagenzug beladen:	
2 Lokomotiven	276 t
1 Beiwagen	14 „
40 Erzwagen, je 35 t Ldg.	1840 „
Insges.	2130 t
Davon Ladung	1400 t

30-Wagenzug beladen:	
1 Lokomotive	138 t
1 Beiwagen	14 „
30 Erzwagen, je 35 t Ldg.	1380 „
Insges.	1532 t
Davon Ladung	1050 t

Es ist das Verdienst des Direktors O e f v e r h o l m der Schwedischen Staatsbahn, den Plan hierzu gefaßt und eine solche Zugförderung mit nur einer Lokomotive verwirklicht zu haben. Ein mit einer Lokomotive erster Lieferung vorgenommener Versuch, bei dem die elektrische Ausrüstung in erstaunlicher Weise überlastet werden konnte, brachte den Nachweis der Durchführbarkeit, obwohl man mit den betriebtechnischen Grundlagen bis an die Grenze des Möglichen gehen mußte. Insbesondere die Adhäsion mußte bis aufs äußerste ausgenutzt werden. Es war nur noch die Frage aufzuklären, ob man die elektrische Ausrüstung so stark bauen konnte, wie es die Betriebserfordernisse mit sich brachten, um auf der Höchststeigung von 10 vT den Zug von etwa 2000 t Gewicht mit 30 km/h Geschwindigkeit zu befördern.

Die neuen 1 C + C 1 - Lokomotiven mit 28 000 kg Anfahrzugkraft.

Nach mehreren Verhandlungen über die technische Ausführung der neuen Lokomotiven wurde von seiten der Schwedischen Staatsbahn eine Ausschreibung erlassen und schließlich im September 1920 unter Zugrundelegung eines Lokomotiventwurfes der SSW der Auftrag auf 11 Doppellokomotiven der Bauart 1 C + C 1, Abb. 8, der schwedischen Firma Aktiebolaget Lindholmen-Motala, Motala Verkstad, erteilt, von denen die Hälfte in gemeinschaftlichem Zusammenarbeiten mit den SSW zu erbauen war. Die elektrische Ausrüstung für je elf Einfachlokomotiven wurde den SSW übertragen. Abb. 9 bis 11 zeigen eine Doppellokomotive.

Die großen Leistungen sind auf der Steigung von 10 vT bei einem Zuggewichte G von etwa 2000 t nur mit Hilfe von gut gekühlten, raschlaufenden Zahnradmotoren aufzubringen, wie folgende Überschlagrechnung beweist:

$$L = \frac{G \cdot W \cdot v}{\eta} \cdot \frac{9{,}81}{1000} = \frac{2000 \cdot 13 \cdot 9}{0{,}9} \cdot \frac{9{,}81}{1000} = 2600 \text{ kW}$$

Die Leistung des einzelnen Motors geht auf der Steigung von 10 vT, also bei einem Zugwiderstand von W = rd. 13 kg/t und einer Geschwindigkeit von $v = 9$ m/s auf den Wert von $\frac{2600}{4} = 650$ kW herauf.

Die hauptsächlichen Zahlenangaben für die neue Lokomotive sind folgende:

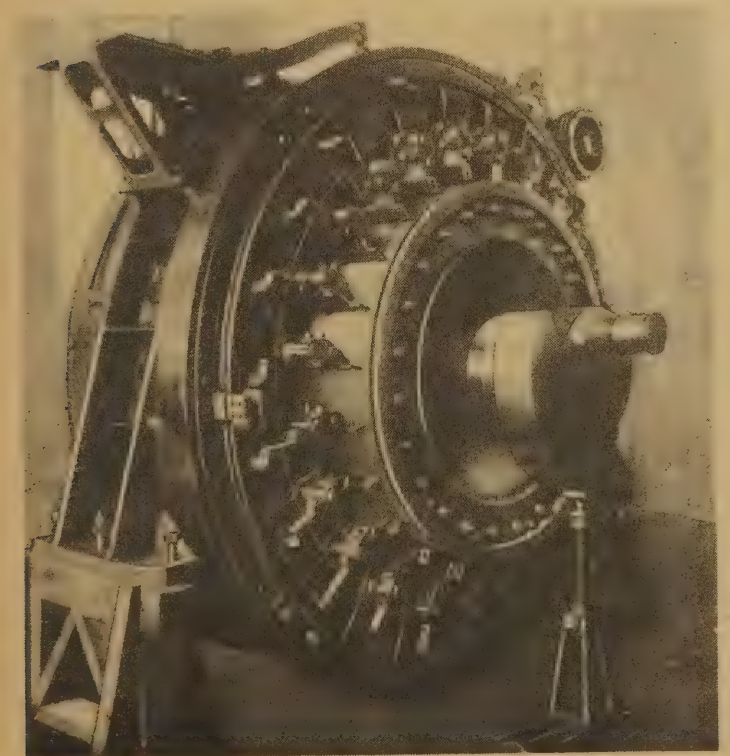


Abb. 4. Hochgelagerter Lokomotivmotor der Lokomotivbauart 1914.



Abb 7. Lokomotive nach einer Fahrt im Schneesturm.

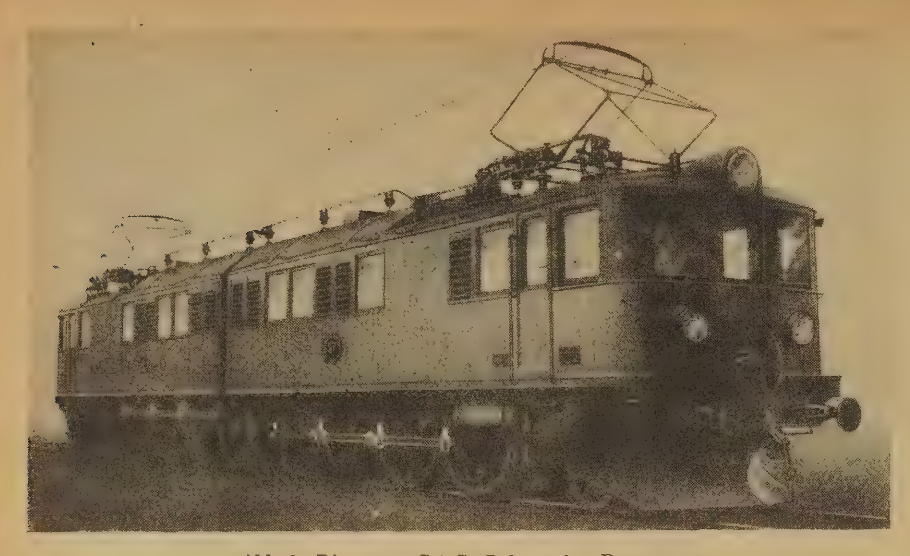




Abb. 8. Die neue 1 C + C 1 Lokomotive, Bauart 1922.

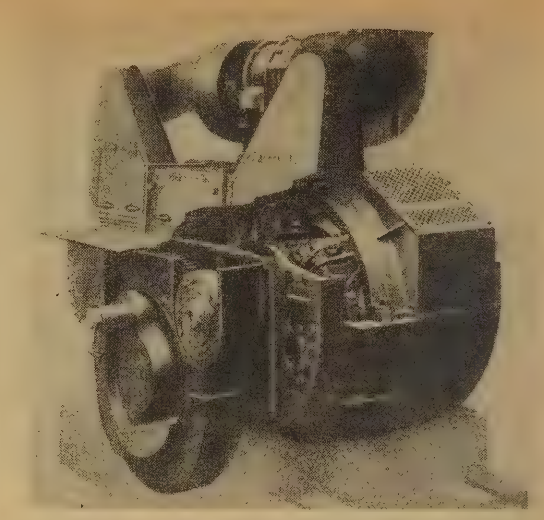


Abb. 12. Zahnrad-Doppelmotor der Lokomotive Bauart 1922.

Größte Länge über die Puffer der Doppellokomotive	20 890 mm
Fester Achsstand einer Halblokomotive	4 900 „
Triebraddurchmesser	1 530 „
Triebachsdruck	16,8 t
Laufachsdruck	13,0 „
Betriebgewicht, insgesamt	126,8 „
Größte Geschwindigkeit bei eingeschalteten Motoren auf ebener Strecke	60 km/h
Größte Geschwindigkeit auf 10 vT bei 500 m Krümmungshalbmesser und 1850 t Anhängelast mindestens	30 „
Übersetzung des Zahnradgetriebes	1 : 4,9
Größte Zugkraft am Radumfang	28 t
Stundenleistung der Motoren	2 900 PS

Damit die Lokomotiven nicht zu schwer werden, mußten Motoren und Transformatoren so leicht wie möglich gebaut und infolgedessen eine vorzüglich durchgebildete Kühlung mit Hilfe von Frischluft vorgesehen werden. Abb. 12 zeigt einen Doppelmotor, dessen zwei Achsen auf ein großes Zahnrad arbeiten, von dem aus mit Hilfe von Kurbelgetrieben die drei Kuppelradsätze jeder Lokomotivhälfte angetrieben werden. Es ist besonders zu beachten, daß die Zahnradblindwelle in der Mitte der Kuppelachsen liegt, Stangengetriebe und Kräfteübertragung also denkbar einfach sind.

Die Schaltung der elektrischen Ausrüstung für die neuen 1 C + C 1-Lokomotiven, Abb. 13, unterscheidet sich von derjenigen der elektrischen Lokomotiven erster Lieferung im wesentlichen durch vereinfachte Verriegelung für die Steuerschützen, ferner durch Aufteilung der Zugkraftsteigerung in wechselseitigem Schritt auf die Lokomotivhälften und schließlich durch Anordnung eines besondern Schalttransformators. Hierbei entfällt die in den alten Lokomotiven vorhandene Dreischenkel-Drosselspule. Diese Schaltung gestattet, die Zahl der Niederspannungsausführungen am Transformator wesentlich herabzusetzen und damit dessen Starkstromverbindungen zu vereinfachen.

Bei den Lokomotiven erster Lieferung wurden die Spannungsstufen für beide Lokomotivhälften gleichzeitig und gleichmäßig geändert. Ihre Transformatoren hatten 20 Ausführungen für den Motorstrom, gegenüber 4 bei den neuen Lokomotiven. Für diese ist folgender Schaltschritt gewählt worden: Auf einer sogenannten Vorstufe werden die Stufenschützen 1 und 2 beider Lokomotivhälften und auf der ersten Hauptstufe die beiden Schützen 3

S Stromabnehmer
F Führerschalter
H Heizkörper
T Transformator
Ss Stufenschütze
LT Lüfter für Transformator
LM „ „ Triebmotor
D Doppeltriebmotoren
K Luftpresser

Abb. 9 bis 11. Doppellokomotive.

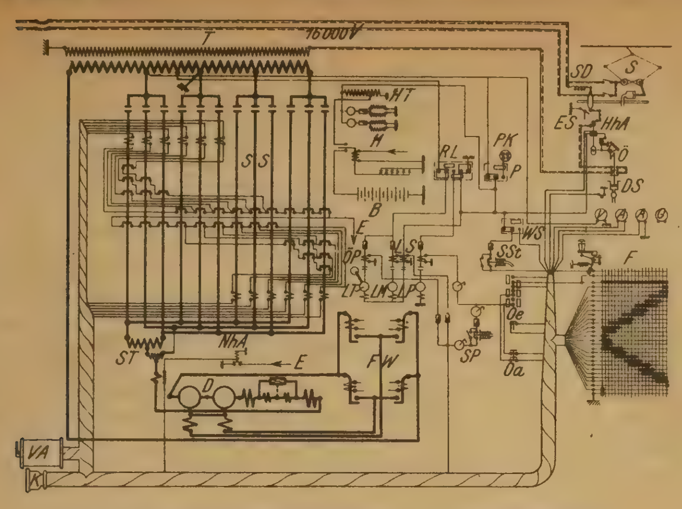


Abb. 13. Schaltbild der Halblokomotive (Riksgränsbahn 1922).

S Stromabnehmer
ES Erdschalter
HhS Hochspannungs-Höchststrom-Ausschalter
Ö Ölschalter
DS Schutzdrosselspule
T Haupttransformator
SS Stufenschützen
ST Schalttransformator
FW Fahrtwendeschütze
NhA Niederspannungs-Höchststrom-Auslöser
F Führerschalter
D Triebmotoren
Oe Ölschalter, ein- } geschaltet
Oa „ aus- } geschaltet
VA Vierfachschalter
LT Lüfter für Transformator
LM „ „ Fahrmotoren
ÖP Ölpumpe
LP Luftpumpe
SP selbsttätiger Pumpenschalter
LS Lüfterschütze
SSt selbsttätiger Steuerstromtrenner
WS Wechselschalter
RL Regelschalter für Lüfter
PK Prüfkupplung
P Prüfumschalter
HT Hilfstransformator
H Heizkörper
A Stromzeiger
V Spannungszeiger
G Geschwindigkeitsmesser
B Beleuchtungskörper
E Steuerstrom-Rückleitung (über Gebläseschützen verriegelt)
K Steuerstrom-Kurzkupplung.

jeweils gleichzeitig eingeschaltet. Nunmehr beginnt das Wechselspiel in der Weise, daß in der Lokomotivhälfte 1 ein weiteres Schütz zugeschaltet wird, darauf in Lokomotivhälfte 2, dann wiederum in Lokomotivhälfte 2, dann 2mal nacheinander in Lokomotivhälfte 1, dann 2mal nacheinander in Lokomotivhälfte 2 usw. ein weiteres Stufenschütz zugeschaltet wird. Als Dauerschaltstellungen sind lediglich die sogenannten Hauptstufen zu benutzen, damit verhütet wird, daß man die Motoren ungleich belastet. Der Steuerstrom für die Stufenschützen ist über die Gebläseschützen verriegelt, so daß die Fahrmotoren nur geschaltet werden können, wenn die Gebläse eingeschaltet sind. Diese werden ausschließlich bei längerem Stillstand der Lokomotive abgestellt.

Der L o k o m o t i v t r a n s f o r m a t o r, Abb. 14, ist für eine Leistung von 1170 kVA gebaut und als Manteltransformator mit Ölkühlung ausgeführt. Das Öl wird durch eine besondere Pumpe in Umlauf gehalten und umspült und durchspült in sehr wirksamer Weise die Transformatorwicklung. Außerdem ist der Ölkessel außen noch mit Kühlrohren versehen, die henkelartig



Abb. 14. Transformator geöffnet.



Abb. 15. Bürstenträger für den Motor.

eingeschweißt sind und deren Kühlfläche durch Aufsetzen ovaler Blechrohre vergrößert ist. Die Mitte der Niederspannungswicklung ist geerdet. Auf dem Transformatorkessel sind die Schaltdrosselspulen angeordnet, und zwar als Trockentransformatoren.

Die beiden M o t o r e n einer Lokomotivhälfte sind ständig in Reihe geschaltet. Sie sind je für eine höchste Betriebspannung von 450 V gegen Erde bemessen. Die Anordnung einer solchen Motorgruppe geht aus Abb. 9 bis 11 hervor; es sind kompensierte Reihenschlußmotoren mit Wendefeld. Sie sind 10polig und haben schräge Ankernuten. Widerstandsverbindungen zwischen Ankerwicklung und Stromsammler sind nicht vorhanden.

Eine für den Betrieb sehr günstige Lösung hat die Anordnung des Bürstenträgers gefunden. Wie Abb. 15 zeigt, ist dieser als einheitliches Ganzes in einem durch ein einfaches Zahngetriebe beliebig drehbaren Ring untergebracht, wodurch Nachsehen und Ersatz der Motorkohlen in denkbar kurzer Zeit ermöglicht ist. Die im Bild oben sichtbaren Kontaktmesser greifen in ihrer Endlage in doppelseitige am Motorgehäuse befestigte Lamellenbürsten ein.

Der Ständer, Abb. 16, ist einteilig. Er wird für größere Untersuchungen mitsamt dem Anker und dem Bürstenträger nach Entfernen des Gehäuseoberteils und des darüberliegenden Daches aus der Lokomotive gehoben.

Die S t u f e n s c h ü t z e n und die F a h r t w e n d e s c h ü t z e n sind ebenso wie die Hilfsschützen elektromagnetisch gesteuert. Die Bewegung der Schaltkontakte erfolgt durch Kniehebel, Abb. 14. Diese Schalter haben infolgedessen geringen Stromverbrauch. Ihre Magnetspulen liegen überdies an 225 V Spannung, so daß man mit sehr schwachen Steuerstrom-Kabelquerschnitten auskommen konnte.

Die Verriegelungskontakte liegen in übersichtlicher und leicht zugänglicher Anordnung vorn unter den Hauptkontakten. Sämtliche Kontakte werden im Schaltvorgang durch Abwälzen aufeinander bewegt. Abnutzung und Unterhaltungsarbeit sind geringfügig. Alle Schützen sind in einem gemeinsamen Gestell untergebracht, Abb. 18. Sie werden einschließlich aller Verriegelungsleitungen (diese bis zu einem gemeinsamen Klemmbrett) fabrikmäßig betriebfertig in das Gestell eingebaut.

Abb. 19 und 20 zeigen noch den selbsttätigen Pumpenschalter bzw. Steuerstromschalter, deren Schaltvorgänge durch Membranen beeinflußt werden. Wie die Abbildungen erkennen lassen, wird die Membran *a* unter dem Einfluß des Luftdruckes gegen die Feder *c* hin abgedrückt. Diese Bewegung der Membrane wird auf eine Druckplatte *e* mit Druckstange übertragen, die an einer in der Lagerung verschiebbare Hebelanordnung angreift. Je nachdem die beiden in Abb. 20 sichtbaren Zugfedern unter einem nach hinten oder nach vorn gerichteten Angriffshebel auf die gegen ein Widerlager drehbar abgestützte Kontaktbrücke einwirken, erfolgt Augenblickseinschaltung oder -abschaltung des Stromes. Die Druckfedern sind nicht regelbar. Sie werden vielmehr werkmäßig auf richtige Druckverhältnisse abgestimmt. Der Pumpenschalter schaltet die Luftpumpe innerhalb der vorgeschriebenen Druckgrenzen ein bzw. aus, und der Steuerstromschalter schaltet den Steuerstrom ab, sobald im Bremszylinder 0,5 at oder mehr Druck herrscht.

Die Spannung für die Hilfsmotoren beträgt 225 V. Damit jedoch die Lüftung der Transformatoren und der Fahrmotoren dem Sommer- bzw. dem Winterbetrieb angepaßt werden kann, ist Umschaltung der Gebläsemotoren auch auf 150 oder 75 V möglich. In jedem Führerstand ist eine ausreichende Zahl von Heizelemen-

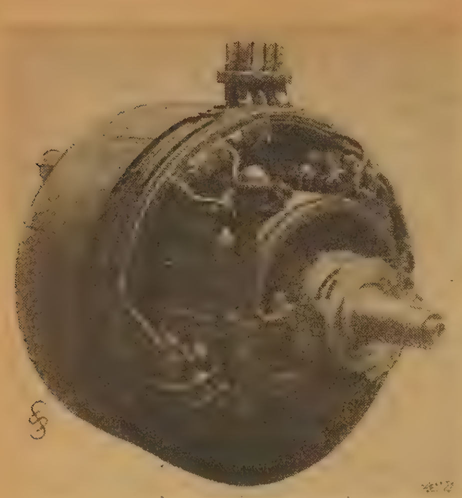




Abb. 16. Ständer und Bürstenring.

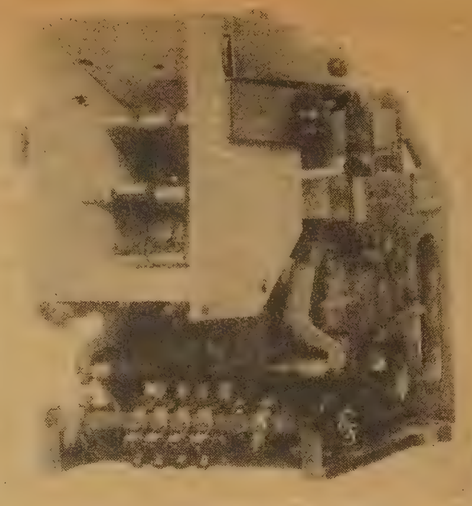


Abb. 17. Schütze mit Kniehebel.

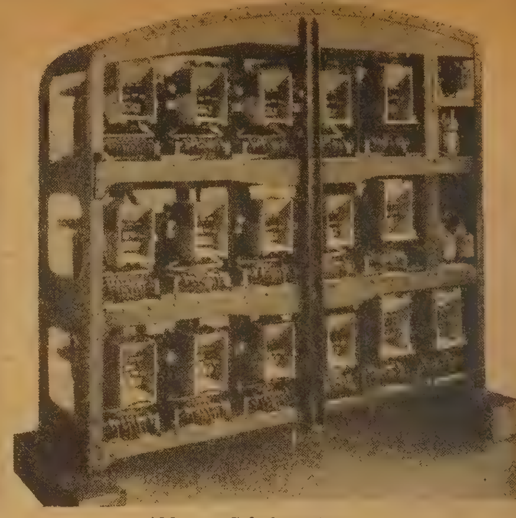


Abb. 18. Schaltgerüst.

ten angeordnet, die ebenfalls an 225 V liegen und in Gruppen zu je zweien nebeneinander geschaltet werden können. Die Spannung für die Beleuchtung der Lokomotiven beträgt 25 V. Hierfür ist ein besonderer kleiner Hilfstransformator vorgesehen. Bleibt die Fahrdrahtspannung aus, so wird ein Teil der Lampen, darunter die obere Stirnlampe, selbsttätig an eine Sammlerbatterie geschaltet.

Der Transformator und die auf ihm angeordneten Drosselspulen werden in der Weise gelüftet, daß ein besonderes Doppel-

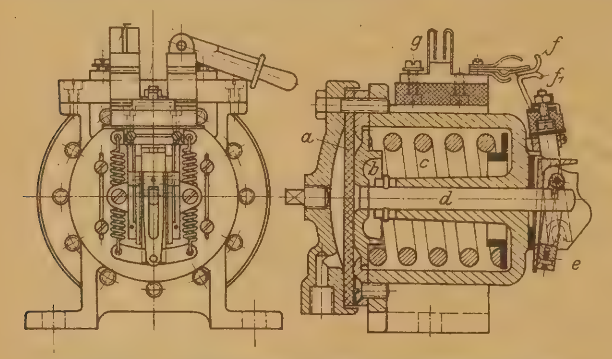


Abb. 19 und 20. Selbsttätiger Pumpen- und Steuerstromschalter.
a Membran, *b* Druckplatte, *c* Druckfeder, *d* Druckstange, *e* Scharnierhebel, *f f₁* Schaltkontakte, *g* Kurzschließer.

gebläse durch Jalousien Luft aus dem Freien ansaugt. Diese Luft durchströmt und umspült zunächst die Schaltdrosselspulen und streicht dann in einem besondern Schacht, der um den Transformator herumgebaut ist, von oben nach unten an dessen Kühlrohren vorbei, um durch das Gebläse zum Dach hinausgedrückt zu werden. Der Gebläsemotor des Transformators dient gleichzeitig zum Antrieb der Ölumlaufpumpe für diesen. Die Fahrmotoren haben Sauglüftung, d. h. das auf den Doppelmotor oben aufgesetzte Doppelgebläse, s. Abb. 12, saugt aus dem geschlossenen Kollektorraum der Motoren die Luft heraus. Die Kühlluft muß also nach Eintritt in den Maschinenraum durch große siebartige Öffnungen über das Ständereisen hinweg teils durch den Luftspalt über den Kollektor und teils durch den Ankerkörper strömen. Die Sauglüftung ist sehr wirksam, sie erfordert aber besondere Maßnahmen gegen das Absaugen des Lageröls, die bei den neuen Lokomotiven der Riksgränsbahn in befriedigender Weise getroffen sind.

Die nach dem Entwurf der SSW gewählte Anordnung und räumliche Verteilung der elektrischen Ausrüstung, hat den Vorzug günstiger Leitungsführung. Trennwände sind mit Ausnahme der Führerstandrückwand nicht vorhanden, so daß alle Ausrüstungsteile gut übersehen werden können. Durch Aufstellung des hochliegenden Transformators mit den beiden aufgesetzten Drosselspulen unmittelbar hinter dem Führerstand, also möglichst weit nach vorn, ist ein sanftes Einlaufen der Lokomotiven in die Krümmungen erzielt worden.

Es mag noch gesagt werden, daß die vorliegende Ausführung einer großen Wechselstrom-Lokomotive sich den Ausführungen der bekannten Gleichstrom-Lokomotiven bei einer Dauerleistung der elektrischen Ausrüstung von 1640 kW würdig an die Seite stellen kann. Vergleicht man das Gewicht einer solchen Doppellokomotive von 126,8 t mit der Ausführung von Gleichstrom-Lokomotiven, so wird man finden, daß das Einheitsgewicht auf 1 kgm Drehmoment bei der Geschwindigkeit von 32,5 km/h nicht zuungunsten der Wechselstromlokomotive ausfällt.

Die erste elektrische Lokomotive der neuen Bauart wurde von den SSW am 24. September 1922 der Schwedischen Staatsbahn betriebfertig in Kiruna übergeben. Nach einer Meßfahrt unter Vollast am 26. September wurde diese Lokomotive in den regelmäßigen Zugdienst übernommen. Sie legte in den ersten 4 Monaten 36 000 km, also 9000 km monatlich zurück.

Selbstverständlich ist bei den außerordentlich hohen Zugkräften, die bis 30 t am Zughaken festgestellt wurden, darauf zu achten, daß im Zuge beim Regeln der Spannung für die Fahrmotoren keine zu starken Schwankungen auftreten, weil die Gefahr der Zugtrennung bei den schweren dreiachsigen Erzwagen vorliegt, die in beladenem Zustand ein Mindestgewicht von je 46 t und vielfach ein Höchstgewicht von je 48 t haben. Aber es hat sich in dem bisherigen Betriebe mit den neuen Lokomotiven gezeigt, daß hier die Übung die erforderliche Fahrsicherheit schafft. Nachdem die ersten 1 C+C 1-Lokomotiven der neuen kann festgestellt werden, daß auch sie den schweren Betriebsanforderungen voll genügen.

Im ganzen erscheint die Ausgestaltung der neuen Lokomotiven derart allgemein zweckmäßig, daß sie unbedenklich auch für schweren Personen- und Schnellzugdienst bis 100 km/h Geschwindigkeit verwendet werden könnte. Man müßte nur die



Abb. 21. Erzzug mit der Lokomotive, Bauart 1922.
a Führerraum *b* Transformator- und Schaltraum *c* Motorraum.

Zahnradübersetzung ändern. Bei solchem Plane würde man eine sehr große Gleichmäßigkeit der elektrischen Ausrüstung für Güter- und Personenzugbetrieb erhalten, die auf den Gesamtbetrieb und die Unterhaltungskosten von größtem Einfluß ist.

[1951]

Untersuchungen an der Dieselmaschine.

III. Thermodynamischer Kreisprozeß und Arbeitsverluste.

Von Professor Dr.-Ing. Kurt Neumann, Hannover.

(Schluß von Z. Bd. 67 (1923) S. 283.)

Wärmediagramme der verlustlosen Maschine für vollkommene und unvollkommene Expansion. Arbeitshub der ausgeführten Maschine im ST-Diagramm. Berechnung der Wärmeübergangszahl für Verbrennung und Expansion in Abhängigkeit vom Kolbenweg. Exponent der Verdichtungs- und Expansionslinie.

Die Betrachtungen über den Arbeitsprozeß der vollkommenen und der ausgeführten Maschine können vertieft werden, wenn man für beide Fälle das Arbeitsdiagramm in das Wärmediagramm überträgt. Man erhält dann eine anschauliche Vorstellung über die zu- und abgeführten Wärmemengen. Insbesondere gewinnt man einen Einblick in die verschiedene Größe und den abweichenden Verlauf der Temperaturen für beide Arbeitsverfahren. Man erkennt, daß das Temperaturbereich der ausgeführten Maschine infolge des Einflusses der Kühlung und der übrigen auftretenden Verluste tiefer liegt als das der vollkommenen Maschine. Wenn hierdurch auch der Wirkungsgrad verkleinert wird, so trägt der Unterschied doch zu einer Verminderung der Wärmebeanspruchungen der Konstruktionsteile bei, die den ersten Nachteil vermindert.

Zur Entwicklung des Wärmediagrammes muß man die Entropie als Funktion der absoluten Temperaturen darstellen. Aus der Verknüpfung der beiden Hauptsätze und der Zustandsgleichung folgt, bezogen auf 1 Mol (vgl. Z. 1923 S. 279), die Entropieänderung

$$dS = C_v \frac{dT}{T} + 1{,}985 \frac{dV}{V}$$

oder

$$S = \int \frac{C_v}{T} dT + 1{,}985 \ln V + C.$$

Da die wahre Molekularwärme $C_v = f(T)$ in Form einer Potenzreihe bekannt ist, so wird

$$\int \frac{C_v}{T} dT = a \ln T + b\,T + \frac{c}{2} T^2 + \frac{d}{3} T^3,$$

und für m Mole ergibt sich die Entropieänderung bei einer Zustandsänderung von 1 nach 2

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = m \left\{ a \ln \frac{T_2}{T_1} + b\,(T_2 - T_1) + \frac{c}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{d}{3}(T_2^3 - T_1^3) + 1{,}985 \ln \frac{V_2}{V_1} \right\}$$

Hiermit kann zunächst das Wärmediagramm der verlustlosen Maschine entwickelt werden.

Für die Kompressionsadiabate 12 ist $dS = 0$, $T_1 = 327°$ und $T_2 = 879°$ abs.

Für die Verbrennungslinie 23 werde wieder der Teilabschnitt a bis b herausgegriffen. Für diesen Teilabschnitt ergibt sich die Entropieänderung

$$S_b - S_a = m_{\sigma b}'' \left\{ a \ln \frac{T_b}{T_a} + b\,(T_b - T_a) + \frac{c}{2}(T_b^2 - T_a^2) + \frac{d}{3}(T_b^3 - T_a^3) + 1{,}985 \ln \frac{1 + 2\,\varepsilon_k - \cos(\sigma_b\,\alpha)}{1 + 2\,\varepsilon_k - \cos(\sigma_a\,\alpha)} \right\}.$$

$m_{\sigma b}''$ ergibt sich aus folgender Erwägung: $m_{\sigma a}''$ sind die beim Beginn, $m_{\sigma b}''$ die am Ende des Teilabschnittes a bis b vorhandenen Verbrennungserzeugnisse. Das zwischen a und b eingeführte Brennstoff- und Einblase-Luftgemisch

$$(\sigma_b - \sigma_a)\,B\,\text{kg} + (L + (\sigma_b - \sigma_a)\,E)\,\text{cbm}$$

verbrenne augenblicklich in a und bildet zusammen mit den schon in a vorhandenen Molen $m_{\sigma a}''$ die Verbrennungserzeugnisse

$$m_{\sigma b}'' = \sigma_b\,B\left(\frac{c}{12} + \frac{h}{2}\right) + \frac{L + \sigma_b\,E}{24{,}4} - \sigma_b\,B\left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4}\right) + \frac{P_r\,30\,n\,V_k}{848\,T_r}$$
$$= \sigma_b\left(B\,\frac{h}{4} + \frac{E}{24{,}4}\right) + \frac{L}{24{,}4} + \frac{P_r\,30\,n\,V_k}{848\,T_r}\ \text{Mol/h}.$$

Für den an der Maschine durchgeführten Versuch wird $m_{\sigma b}'' = 0{,}697\,\sigma_b + 9{,}96$ bezw. mit $\sigma = \frac{1}{2}$ $m_{\sigma b}'' = 10{,}31$ Mol/h. Bezüglich der Beiwerte a, b, c, d der Molekularwärme $C_v = f(T)$ vgl. Z. 1923 S. 281. Die Entropieänderung ergibt sich zu

$$S_b - S_a = 10{,}31 \left\{4{,}758 \cdot 2{,}3 \log \frac{1618}{1363} + 1{,}42 \cdot 10^{-3}(1618 - 1363) - 1{,}19 \cdot 10^{-7}(1618^2 - 1363^2) + 10^{-11}(1618^3 - 1363^3) + 4{,}56 \log \frac{1 + 2 \cdot 0{,}0827 - \cos 16^0}{1 + 2 \cdot 0{,}0827 - \cos 6^0}\right\}$$
$$= 15{,}2\ \text{E.E.}$$

Für die Verbrennungslinie 2 3 sind die ermittelten Größen in Zahlentafel 4 zusammengestellt. Bildet man die Integrale $\int_{S_2}^{S_z} T\,dS$, wobei z nacheinander gleich a, b, c, 3 ist, und trägt man sie abhängig von den Kurbelwinkeln $-4°$, $+6°$, $16°$, $26°$, $36°$ auf, so erkennt man, daß die Wärmezufuhr in der Tat, wie vorausgesetzt (vgl. Z. 1923 S. 279 und Abb. 3 S. 280), proportional der Zeit erfolgt.

In Punkt 3 beginnt die adiabatische Expansion der verbrannten Ladung. Für vollständige Expansion bis auf den Gegendruck $p_1 = 1{,}02$ at abs. ergab sich als Endtemperatur $T_6 = 807°$ abs. (vgl. Zahlentafel 2 Z. 1923 S. 282). Mit $S_6 - S_3 = 0$ und $T_6 = 807°$ abs. liegt im Wärmediagramm der Zustand am Ende der vollkommenen Expansion, Punkt 6, fest.

Der Anfangszustand im Punkt 1 wird durch eine Zustandsänderung bei konstantem Druck erreicht. Für diese ist die Entropieänderung

$$\int_{S_6}^{S_1} dS = m_3'' \int_{T_6}^{T_1} \frac{C_p''}{T}\,dT$$

oder

$$S_6 - S_1 = -m_3'' \left\{ (a + 1{,}985) \ln \frac{T_6}{T_1} + b\,(T_6 - T_1) + \frac{c}{2}(T_6^2 - T_1^2) + \frac{d}{3}(T_6^3 - T_1^3) \right\}.$$

Mit $T_6 = 807$ und $T_1 = 327°$ abs. wird

$$S_6 - S_1 = -10{,}66 \cdot 6{,}69 = -71{,}1\ \text{E.E.}$$

In Abb. 5 ist das Wärmediagramm der verlustlosen Maschine für vollkommene Expansion ($p_6 = p_1$) durch den Linienzug 1 2 3 6 1 dargestellt.

Es erfährt eine Änderung, wenn jetzt die Expansion nur bis zu der durch das Zylindervolumen der Maschine festgelegten Grenze $V_k + V_h$ erfolgen kann. In diesem Falle liegt der Endpunkt 4 auf der Adiabaten 3 6 durch $T_4 = 1153$ abs. (vgl. Zahlentafel 2 Z. 1923 S. 282) fest.

Für unvollständige Expansion tritt auch bei der

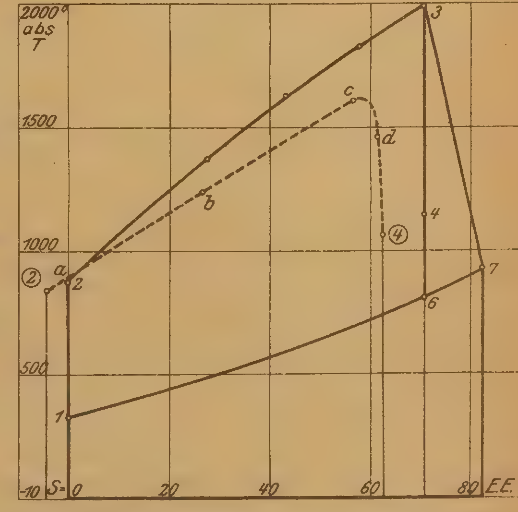


Abb. 5. Wärmediagramm der vollkommenen Maschine für vollständige und unvollständige Expansion Arbeitshub der ausgeführten Maschine.

Zahlentafel 4. Zustandsänderung während der Verbrennung für die verlustlose Maschine.

Kolbenstellung			2	a	b	c	3
Kolbenwegverhältnis . . .	ε_z	—	0	0,0028	0,0194	0,0506	1,1005
Absolute Temperatur im Zylinder	T_z	° abs.	879	1363	1618	1827	1988
Bruchteil der zugeführten Brennstoff-u. Einblaseluft	σ_z	—	0	1/4	1/2	3/4	1
Verbrennungserzeugnisse .	m''_{σ_z}	Mol./h	9,95	10,13	10,31	10,89	10,66
Entropieänderung	$S_z - S_z'$	E. E.	0	28,0	15,2	15,5	12,4
	$S_z - S_2'$	E. E.	0	28,0	43,2	58,7	71,1
Zugeführte Wärme	$\int_{S_2}^{S_z} T\,dS$	kcal/h	0	30 500	54 400	81 000	108 000

verlustlosen Maschine infolge des nicht umkehrbaren Ausströmungsvorganges eine Entropievermehrung ein. Um den Zustand am Ende des Ausströmens, für den $p_1 = 1{,}02$ at abs. ist, zu bestimmen, wird mit Bezug auf Abb. 6 dem Zylinderinhalt zunächst Wärme bei unveränderlichem Rauminhalt $V_4 =$ konst. entzogen, bis der Druck auf p_1 abgenommen hat. Hierdurch sinkt die Temperatur von T_4 auf T_8. Um den Anfangszustand Punkt 1 bzw. die Temperatur T_1 zu erreichen, muß man noch bei konstantem Druck p_1 Wärme ab- oder zuführen, je nachdem, ob $T_8 \gtrless T_1$ ist. Nach dem ersten Hauptsatz ist die zugeführte Wärme Q_I gleich der Summe der geleisteten Arbeit und der abgeführten Wärme. Man liest aus der Abbildung ab:

für vollständige Expansion $Q_I = A\,L_v + Q_v$
Fläche 1′236′ = 1236 + 611′6′,

für unvollständige Expansion $Q_I = A\,L_u + Q_u$
Fläche 1′236′ = 12348 + 4811′6′.

Hieraus folgt der Arbeitsverlust
$AL_v - A\,L_u = Q_u - Q_v$, d. i. Fläche 486 = 4811′6′ — 611′6′.

Bezeichnet Punkt 7 den Zustand am Ende des nicht umkehrbaren Ausströmens ($p_7 = p_1$ und T_7), so wird für unvollkommene Expansion die abgeführte Wärme Q_u auch durch die Fläche 711′7′ dargestellt, mithin ist Fläche 486 = 711′7′ — 611′6′ = 766′7′.

Aus der Gleichheit der schraffierten Flächen folgt die Bedingungsgleichung für die Temperatur T_7. Durch T_7 und p_1 ist aber Punkt 7 im Diagramm bestimmt und damit der Zustand am Ende der nicht umkehrbaren Zustandsänderung ermittelt. Die Flächengleichheit ergibt

$$m''\left\{\int_{t_8}^{t_4} C_v''\,\mathrm{d}t - \int_{t_8}^{t_8} C_p''\,\mathrm{d}t\right\} = m''\int_{t_8}^{t_7} C_p''\,\mathrm{d}t.$$

Man erhält hieraus nach leichter Umformung

$$t_7 = \frac{1{,}985\; t_8 + [C_v'']_0^{t_4}\cdot t_4}{[C_p'']_0^{t_7}}\;{}^\circ\mathrm{C}.$$

Wegen $[C_p'']_0^{t_7} = f(t_7)$ kann die gesuchte Temperatur t_7 nur durch probeweise Annahme gefunden werden, nachdem zuvor noch die Temperatur t_8 bestimmt worden ist. Diese ergibt sich aus der Gleichsetzung der Entropieunterschiede (vergl. Abb. 6)

$$\int_{S_8}^{S_4}\mathrm{d}S = \int_{S_8}^{S_6}\mathrm{d}S.$$

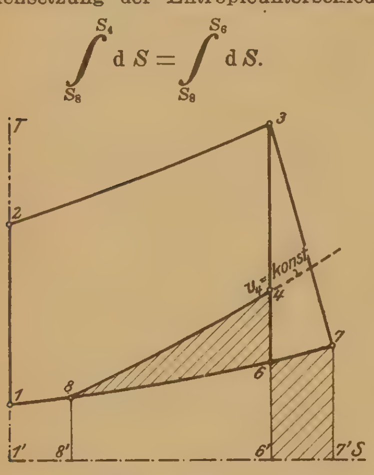


Abb. 6. Wärmediagramm der verlustlosen Maschine für vollständige und für unvollständige Expansion.

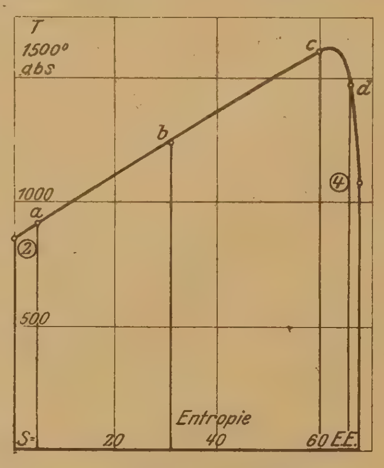


Abb. 7. Verbrennung und Expansion der ausgeführten Maschine im Wärmediagramm.

Es wird mit Unterdrückung der Zwischenrechnung

$$1{,}985\,\ln\frac{T_6}{T_8} = \int_{T_8}^{T_4}\frac{C_v''}{T}\,\mathrm{d}T,$$

so daß man

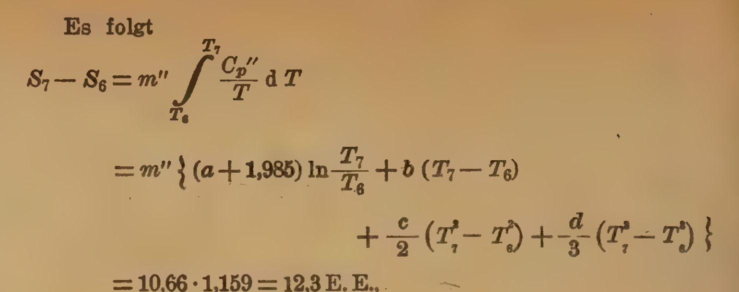
$$T_8 = T_6\cdot e^{-\frac{1}{1{,}985}\left[a\,\ln\frac{T_4}{T_6} + b\,(T_4 - T_6) + \frac{c}{2}\left(T_4^2 - T_6^2\right) + \frac{d}{3}\left(T_4^3 - T_6^3\right)\right]}$$

und mit $T_4 = 1153$ und $T_6 = 807$° abs. (vergl. Zahlentafel 2 Z. 1923 S. 282) $T_8 = 276{,}7$° abs. erhält. Es folgt mithin t_7 aus der Gleichung

$$t_7 = \frac{1{,}985\cdot 3{,}7 + 5{,}610\cdot 880}{[C_p'']_0^{t_7}}$$

zu $t_7 = 662$° C. Hierbei ist $[C_p'']_0^{662} = 7{,}485\;\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{Mol\,°C}}$. Der Punkt 7 ergibt sich im Wärmediagramm durch Berechnung des zu $T_7 = 935$° abs. gehörigen Entropiezuwachses.

Es folgt



$$S_7 - S_6 = m''\int_{T_6}^{T_7}\frac{C_p''}{T}\,\mathrm{d}T$$

$$= m''\left\{(a + 1{,}985)\ln\frac{T_7}{T_6} + b\,(T_7 - T_6) + \frac{c}{2}\left(T_7^2 - T_6^2\right) + \frac{d}{3}\left(T_7^3 - T_6^3\right)\right\}$$

$$= 10{,}66\cdot 1{,}159 = 12{,}3\ \mathrm{E.E.},$$

so daß die Koordinaten des Punktes 7 $S_7 - S_1 = 71{,}7 + 12{,}3 = 83{,}4$ E. E. und $T_7 = 935$° abs. sind.

Um von 7 den Anfangszustand 1 zu erreichen, hat man zu beachten, daß vom Wärmeinhalt $J_7 = m''\int_0^{t_7} C_p''\,\mathrm{d}t$ der Teilbetrag der Restgase $J_r = m_r\int_0^{t_7} C_p''\,\mathrm{d}t$ im Kompressionsraum zurückbleibt und der Rest $J_a = J_7 - J_r = m''\int_0^{t_7} C_p''\,\mathrm{d}t$ an die Atmosphäre abgegeben wird. Da der Wärmeinhalt der angesaugten Verbrennungsluft $J_l = m_l\int_0^{t_l} C_{p_l}'\,\mathrm{d}t$ beträgt, so ergibt sich die Temperatur am Ende des Ansaugens in Punkt 1, wenn kein Wärmeaustausch mit der Wand stattfindet, aus der Beziehung $J_r + J_l = J_1$ zu

$$t_1 = \frac{m_r\,[C_p'']_0^{t_7}\cdot t_7 + m_l\,[C_{p_l}']_0^{t_l}\cdot t_l}{(m_r + m_l)\;[C_p']_0^{t_1}}$$

$$= \frac{0{,}348\cdot 7{,}49\cdot 662 + 9{,}60\cdot 6{,}96\cdot 24{,}1}{9{,}95\cdot 6{,}96} = 48{,}2\,{}^\circ\mathrm{C}.$$

Beim Ausschieben und Ansaugen 751 werden mithin bei der

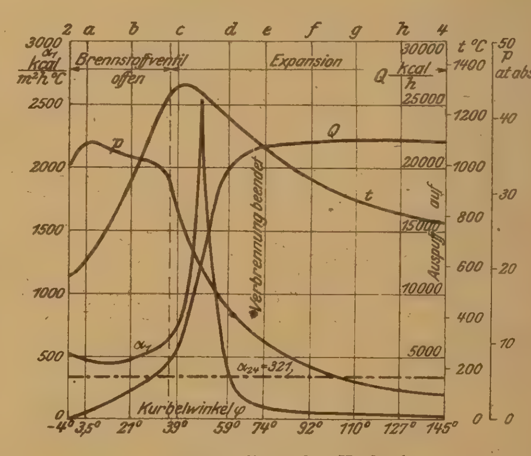


Abb. 8. Zeitlicher Verlauf der Verbrennung zwischen Nadeleröffnung und Ende der Expansion.

vollkommenen Maschine folgende Wärmemengen entzogen und aufgenommen:

$$Q_{75}'' = -(m'' - m_r)\int_0^{t_7} C_p''\,\mathrm{d}t$$

und

$$Q_{51}'' = (m_r + m_l)\int_0^{t_1} C_{p_l}'\,\mathrm{d}t\;\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{h}}.$$

Die hierdurch bewirkte Entropieänderung ist

$$S_1 - S_7 = -(m'' - m_r)\int_{273}^{T_7}\frac{C_p''}{T}\,\mathrm{d}T + (m_r + m_l)\int_{273}^{T_1}\frac{C_{p_l}'}{T}\,\mathrm{d}T\ \mathrm{E.E.}$$

Mit $m'' = 10{,}66$, $m_r = 0{,}348$, $m_l = 9{,}60$ Mol/h ergibt sich, wenn man die Integrale auf die gleiche Weise auswertet, wie oben bei der Entropieänderung $S_7 - S_6$ angegeben,

$$S_1 - S_7 = -10{,}31\cdot 9{,}28 + 9{,}95\cdot 1{,}27 = -83{,}2\ \mathrm{E.E.}$$

Hiermit ist aber der Ausgangspunkt 1 wieder erreicht. Das Diagramm ist geschlossen. Abb. 5 zeigt im Linienzug 1 2 3 7 1 das Wärmediagramm der verlustlosen Maschine für unvollständige Expansion ($p_4 > p_1$). Aus dem aufgezeichneten Diagramm wurde die zugeführte sowie die abgeführte Wärme und die geleistete Arbeit durch Planimetrieren bestimmt. Die Ergebnisse stimmen mit der Rechnung überein. Zahlentafel 5 und 6 enthalten die berechneten Werte.

Zahlentafel 5. Wärmediagramm der verlustlosen Maschine.

Punkt	Temperatur °abs.	Temperatur °C	Entropieunterschied	E. E.
1	327	54	S_1	0
2	879	606	$S_2 - S_1$	0
3	1988	1715	$S_3 - S_2$	71,1
4	1153	880	$S_4 - S_3$	0
6	807	534	$S_6 - S_3$	0
7	935	662	$S_7 - S_6$	12,3
1	327	54	$S_1 - S_7$	— 83,4

Das Wärmediagramm der ausgeführten Maschine wird grundsätzlich auf dieselbe Weise erhalten. Ich will mich jedoch darauf beschränken, nur den Verlauf der Verbrennung und der Expansion, also die Zustandsänderung von 2 nach 4, zu entwickeln, da der Arbeitshub im Viertaktspiel das Hauptinteresse beansprucht.

Bis zum beliebigen Punkte z ist die Entropieänderung für m_z'' verbrannte Mole

$$\int_{S_2}^{S_z} dS = S_z - S_2 = m_z'' \left\{ a \ln \frac{T_z}{T_2} + b\,(T_z - T_2) + \frac{c}{2}\left(T_z^2 - T_2^2\right) + \frac{d}{3}\left(T_z^3 - T_2^3\right) + 1{,}985 \ln\left(1 + \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_k}\right) \right\}$$

Mit Einführung der Zahlenwerte wird

$$S_z - S_2 = m_z'' \left\{ 10{,}95 \log \frac{T_z}{843} + 1{,}42 \cdot 10^{-3}\,(T_z - 843) - 1{,}19 \cdot 10^{-7}\left(T_z^2 - 843^2\right) + 10^{-11}\left(T_z^3 - 843^3\right) + 4{,}59 \log\left(1 + \frac{\varepsilon_z}{0{,}0827}\right) \right\} \text{E. E.}$$

Zahlentafel 7 enthält die Ergebnisse. In Abb. 7 ist $T = f(S)$ für den Teilabschnitt 2-4 dargestellt.

Zahlentafel 6.
Wärmebewegung für die verlustlose Maschine.

			Vollkommene Expansion $p_6 = p_1$ aus Diagramm	Vollkommene Expansion $p_6 = p_1$ aus Rechnung	Unvollkommene Expansion $p_4 > p_1$ aus Diagramm	Unvollkommene Expansion $p_4 > p_1$ aus Rechnung
Zugeführte Wärme	Q_I	kcal/h	108 000	108 800	108 000	108 800
Abgeführte Wärme	Q_{II}	„	39 000	38 720	49 600	49 400
Geleistete Arbeit	$A\,L$	„	69 000	70 080	58 400	59 400
Thermischer Wirkungsgrad	η_t	—	0,640	0,645	0,540	0,546

Man erkennt, daß der Temperaturverlauf für Verbrennung und Expansion wesentlich tiefer als bei der verlustlosen Maschine liegt (vergl. Abb. 5), und daß sich insbesondere die Expansionskurve während der zweiten Hälfte des Hubes (d-4) stark der Adiabate nähert.

Um die Expansionslinie 2-4 der ausgeführten Maschine richtig in das Wärmediagramm einzutragen, muß man die Lage des Punktes 2, d. h. seine Entropieänderung in bezug auf den Anfangspunkt 1 ($T_1 = 327°$ abs., $S_1 = 0$), kennen. Diese folgt aus der Entropieänderung während der Verdichtung

$$\int_{S_1}^{S_2} dS = m' \left[10{,}65 \log \frac{T_2}{T_1} + 0{,}000\,551\,(T_2 - T_1) + 4{,}563 \log \frac{0{,}0827 + \varepsilon_{z2}}{0{,}0827 + \varepsilon_{z1}} \right]$$

mit $m' = 9{,}96$ Mol/h, $T_2 = 843°$ abs., $\varepsilon_{z1} = 1$ und $\varepsilon_{z2} = 0$ zu $S_2 - S_1 = -4{,}24$ E. E.

Auf den Ursprung 0 bezogen, beginnt und endet die Expansionslinie in den Punkten 2 ($T_2 = 843°$ abs., $S_2 - S_1 = -4{,}24$ E. E.) und 4 ($T_4 = 1060°$ abs., $S_4 - S_1 = 63{,}3$ E. E.).

Die im Wärmediagramm deutlich hervortretenden Unterschiede im Arbeitsverfahren der vollkommenen und der ausgeführten Maschine sind durch die Verluste verursacht, die in der Hauptsache durch Kühlung und Nachbrennen bedingt werden. Schon eine erste Betrachtung zeigt, daß die Verluste zu Beginn des Arbeitshubes am bedeutendsten sind. Von diesen kann man die vom Gas an die Zylinderwand übergehende Wärme Q_{2z} rechnerisch bestimmen, da ja für den Teilabschnitt 2 z die zugeführte Wärme $(x\,B\,h_u + J_{B+E})\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ (vergl. Forschungsheft 245 S. 18) bekannt ist und aus dem ST-Diagramm (Abb. 7) durch Integration der jeweilige Wärmewert des Zylinderinhaltes $\int_{S_2}^{S_z} d\,S\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$, versinnbildlicht durch die unter der Zustandslinie 2-z liegende Fläche, ermittelt werden kann. Der Unterschied dieser beiden Wärmemengen muß gleich der an die Wand abgegebenen Wärme sein, so daß folgt:

$$Q_{2z} = x\,B\,h_u + J_{B+E} - \int_{S_2}^{S_z} T\,d\,S\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}}.$$

Aus Zahlentafel 7 sind die einzelnen Werte ersichtlich.

Es bietet sich die Möglichkeit, da hiermit Q_{2z} als Funktion des Kurbelwinkels φ bekannt ist, auch die Wärmeübergangszahl α_1 vom Gas an die Wand als Funktion von φ zu bestimmen, d. h. den zeitlichen Verlauf der Wärmeübergangszahl zu finden. Die Ermittlung der $Q = f(\varphi)$-Kurve auf Grund der angegebenen Gleichung erscheint mir sicherer, als das im Forschungsheft 245 eingeschlagene Verfahren mit Hilfe des PV-Diagrammes. Wie man aus Abb. 8 erkennt, ist die frühere Unstetigkeit im Verlauf der Q-Kurve nach der neuen Berechnungsart verschwunden (vergl. Forschungsheft 245 Abb. 8 S. 19). Ein rechnerischer Irrtum bezüglich der stündlich übergehenden Wärme $\frac{Q}{z}$ in Zahlentafel 10 S. 32 und der daraus folgenden Größenordnung für die Wärmeübergangszahl α_1, der dem kundigen Leser schon aus den Ausführungen auf S. 41 bemerkbar werden mußte, wurde schon in Z. 1923 S. 711 Zahlentafel 10 richtiggestellt.

Geht im Zeitteilchen d z an die Wand die Wärme d Q über, so ist, wenn F die augenblickliche Wandfläche, t_g die Gas- und ϑ_1 die Wandtemperatur bezeichnet,

$$d\,Q = \alpha_1\,F\,(t_g - \vartheta_1)\,d\,z,$$

woraus

$$\alpha_1 = \frac{1}{F\,(t_g - \vartheta_1)}\;\frac{d\,Q}{d\,z}\;\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\,\text{h}\,°\text{C}}$$

folgt.

Die Zeit für den Drehwinkel d φ ist $d\,z = \frac{1}{60\,n}\,\frac{d\,\varphi}{360}$ h. Auf die Stunde oder 30 n Arbeitspiele bezogen folgt hieraus

$$\frac{d\,\varphi}{d\,z} = \frac{60\,n \cdot 360}{30\,n} = 720.$$

Es wird mithin wegen $\frac{d\,Q}{d\,z} = \frac{d\,Q}{d\,\varphi}\,\frac{d\,\varphi}{d\,z}$ die augenblickliche Wärmeübergangszahl

$$\alpha_1 = \frac{720}{F\,(t_g - \vartheta_1)}\;\frac{d\,Q}{d\,\varphi}\;\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\,\text{h}\,°\text{C}}.$$

Die mittlere Temperatur ϑ_1 der inneren Zylinderwand werde unveränderlich gesetzt. Die Wandtemperatur auf der Wasserseite folgt aus

$$Q = \alpha_2\,F\,(\vartheta_2 - t_w)\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \text{ zu } \vartheta_2 = 36 + \frac{32\,971}{1200 \cdot 0{,}450} = 97\,°\text{C}.$$

und hiermit wird wegen $Q = \frac{\lambda}{\delta}\,F\,(\vartheta_1 - \vartheta_2)\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$:

$$\vartheta_1 = 97 + \frac{32\,971}{0{,}450}\,\frac{0{,}031}{56} = 138\,°\text{C}.$$

Da F und t_g als Funktion von φ bekannt sind (Forschungsheft 245 Abb. 10 S. 27), so ist auch α_1 für jeden Kurbelwinkel bestimmt. Die Ergebnisse sind in Zahlentafel 7 zusammengestellt und in Abb. 8 veranschaulicht.

Man sieht, daß die Wärmeübergangszahl α_1 während der Verbrennung und der Expansion stark veränderlich ist. Sie hat einen Höchstwert, der zeitlich fast mit der höchsten im Arbeitspiel auftretenden Temperatur zusammenfällt. Während der Expansion nimmt α_1 schnell ab. Die mittlere Wärmeübergangszahl zwischen Punkt 2 und 4 ergibt sich durch Integration zu $\alpha_{24} = 321\,\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\,\text{h}\,°\text{C}}$.

Den gleichen Wert erhält man, wenn man α_1 aus der während des Teilabschnittes 2-4 an die Wand übergehenden Wärme berechnet. Für diesen ist (Forschungsheft 245 S. 26):

die stündlich übergehende Wärme $Q_{24} = 22\,280\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
die mittlere Wandoberfläche . . . $F_{24} = 0{,}397$ m²
„ „ Gastemperatur . . . $t_g = 980\,°$C
„ „ Wandtemperatur . . $\vartheta_1 = 138\,°$C
der durchlaufene Kurbelwinkel . $\Delta\varphi = 149$ Grad.

Mithin wird

$$\alpha_{24} = \frac{720}{\Delta\varphi}\;\frac{Q_{24}}{F_{24}\,(t_g - \vartheta_1)} = 321\;\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\,\text{h}\,°\text{C}}.$$

Zahlentafel 7. Zustandsänderung während Verbrennung und Expansion für die ausgeführte Maschine.

Kolbenstellung			2	a	b	c		d	4
Kolbenwegverhältnis	ε_z	—	0	0,00115	0,0397	0,1313		0,2794	0,9260
Absolute Temperatur im Zylinder	T_z	⁰abs.	843	905	1223	1595		1457	1060
Bruchteil der zugeführten Brennstoff- u. Luftmenge	σ_z	—	0	0,0805	0,750	1,000		1,000	1,000
Verbrennungserzeugnisse	m_z	Mol./h	9,96	10,00	10,27	10,56		10,64	10,66
Entropieänderung	$S_z - S_2$	E. E.	0	4,33	30,95	61,4		66,8	67,5
Zugeführte Wärme	$x B h_u + J_{B+E}$	kcal/h	0	4721	34 205	80 480		103 680	109 180
Wärmewert des Zylinderinhaltes	$\int_{S_2}^{S_z} T\,dS$	„	0	3800	32 100	75 200		83 600	86 900
An die Wand abgegebene Wärme	Q_{2z}	„	0	921	2105	5280		20 080	22 280
	$\frac{dQ}{d\varphi}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h Grad}}$	64	70	126	296	1226	264	—
Wärmeübergangszahl	α_1	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h }^0\text{C}}$	531	455	500	662	2560	533	—
Kurbelwinkel	φ	Grad	—4	3,5	21	39	48,5	59	145

Bezüglich der Abhängigkeit der Wärmeübergangszahl α_1 vom Kurbelwinkel φ erkennt man, daß diese entscheidend vom Verlauf der Kurve $Q_{2z} = f(\varphi)$ beeinflußt wird, die die an die Wand übergehende Wärme darstellt. Trotz großer auf die Auswertung verwendeter Sorgfalt ist es nicht ausgeschlossen, daß der Größtwert von $\frac{dQ}{d\varphi}$, d. h. der Wendepunkt der Q_{2z}-Kurve, in bezug auf φ sich etwas verschieben kann, etwa nach der Seite der kleineren Kurbelwinkel hin, da sich Q_{2z} aus dem Unterschied zweier annähernd gleich großer Werte $(x B h_u + J_{B+E})$ und $\int_{S_2}^{S_z} T\,dS$ berechnet (vergl. Zahlentafel 7). Hiermit würde die größte Wärmeübergangszahl $\alpha_{1\,max}$ noch in das Bereich der sichtbaren Verbrennung fallen, während sie nach der Rechnung beim Kurbelwinkel $\varphi = 48{,}5°$ liegt, also in das Gebiet des Nachbrennens fällt. Weiterhin ist zu beachten, daß die zugeführte Wärme $(x B h_u + J_{B+E}) \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ wesentlich von der Größe x abhängt, die aus der Zusammensetzung der durch das gesteuerte Ventil dem Zylinder entnommenen Gasproben berechnet wurde (Forschungsheft 245 S. 17). Der Temperaturverlauf hängt im Gegensatz hierzu in geringerem Maße von x ab (vergl. die Formel für T_z, Forschungsheft 245 S. 20), da der Summand $0{,}371\,x$ im Nenner der Formel nur den Wert eines Korrektionsgliedes hat. Der wahre Verlauf der Q-Kurve muß mithin darnach eingeschätzt werden, mit welcher Sicherheit die entnommene Gasprobe die mittlere Zusammensetzung der verbrennenden Ladung wiedergibt. Ich neige heute zu der Ansicht, daß besonders im Anfang der Verbrennung, d. h. bei kleinen x-Werten, diese Sicherheit geringer als gegen Ende der Verbrennung ist, da das gesteuerte Ventil die Gasprobe nur am Zylinderdeckel entnimmt und sich in diesem Zeitpunkt am ehesten eine örtliche Verschiedenheit in den Gaskonzentrationen bemerkbar machen kann. Trotzdem ist die Übereinstimmung der erhaltenen α_1-Werte mit den nach der neuerdings für den Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine von Nusselt aufgestellten Formel (Z. 1923 S. 711) berechneten Werten[1]) recht befriedigend, wie die beifolgende Zusammenstellung in Zahlentafel 8 zeigt.

Zahlentafel 8. Wärmeübergangszahl α_1 kcal/m²h ⁰C nach Versuch und nach der Formel von Nusselt.

Kolbenstellung	2	a	b	c	Max.	d	4
nach Zahlentafel 7	531	455	500	662	2560	533	—
nach Nusselt	519	560	606	563	—	366	136

Zahlentafel 9. Expansionsadiabate der verlustlosen Maschine: $k = \frac{C_p}{C_v} = f(t)$.

t	⁰C	0	534	880	1227	1715
C_p	—	7,14	7,76	8,11	8,44	8,86
C_v	—	5,15	5,77	6,12	6,45	6,87
$\varkappa$	—	1,389	1,346	1,325	1,309	1,290

Zahlentafel 10. Exponent n der Expansionspolytrope für die ausgeführte Maschine.

Teilstrecke	3 - d	d - e	e - f	f - g	g - h	h - 4
n	1,160	1,238	1,356	1,357	1,302	1,285

Daß während der Verbrennung ein ausgesprochener Höchstwert der Wärmeübergangszahl auftritt, halte ich für sehr wahrscheinlich. Seine Größe wird in erster Linie von der Wirbelbewegung der verbrennenden Ladung abhängen, die die Formel von Nusselt näherungsweise nur durch die mittlere Kolbengeschwindigkeit erfaßt. Meine Versuche an der 40 PS-Deutzer Ölmaschine (Z. 1923 S. 755) deuten ebenfalls darauf hin, daß auch bei gleicher mittlerer Kolbengeschwindigkeit sich für verschiedene Einspritzverfahren verschiedene Wärmeübergangszahlen ergeben, was sich zwanglos durch verschiedene Turbulenz erklären läßt.

Auf Grund dieser Darlegungen halte ich die Anschauungen über den zeitlichen Verlauf der Wärmeübergangszahl während des Arbeitshubes der Dieselmaschine vorläufig für geklärt. Weitere Einblicke wird man erst gewinnen, wenn man zu anderen experimentellen Hilfsmitteln, z. B. zur unmittelbaren Messung der Gas- und Wandtemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit greift.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Wärmeübergangszahl α_1 während der ersten Hubhälfte am größten ist. Hohe Temperatur, große Dichte, lebhafte Gasbewegung befördern die Wärmeübertragung hier außerordentlich. In der zweiten Hälfte des Arbeitshubes muß α_1 kleiner sein; denn hier sind die gleichen Ursachen nur in stark vermindertem Maße wirksam. Bis zu welcher zahlenmäßigen Größe der Höchstwert von α_1 während der Verbrennung anwächst, wird man kaum durch eine für alle Maschinen gültige Formel angeben können, da hierfür in erster Linie die ungeregelten Strömungsverhältnisse im Zylinder maßgebend sind, die rechnerisch nicht erfaßt werden können, weil sie von zu viel Einflüssen (Kolbengeschwindigkeit, Einspritzverfahren, Formgebung des Verbrennungsraumes) abhängig sind.

Abb. 9. Exponent n während der Expansion für die ausgeführte Maschine.

Aus den Indikatordiagrammen für die verlustlose und die ausgeführte Maschine mögen noch einige Schlüsse in bezug auf die Größe des Exponenten der Expansionslinie gezogen werden, die beim Entwurf von Arbeitsdiagrammen beachtet werden können.

Berechnet man für die verlustlose Maschine $\varkappa = \frac{C_p}{C_v}$, indem man $C_v = f(T)$ und $C_p = 1{,}985 + C_v$ setzt, für verschiedene Temperaturen (vgl. Zahlentafel 9), so sieht man, daß der Exponent $\varkappa$ der Adiabate mit steigender Temperatur stark abnimmt, zwischen $t = 534°$ und $1715°$ C z. B. um 4,2 vH. Innerhalb des Temperaturbereiches von 1800 und 500° C läßt sich $\varkappa$ gut durch die Gleichung $\varkappa = 1{,}369\, e^{-0{,}000\,055\,t}$ darstellen.

Infolge des Einflusses der Kohlensäure und des Wasserdampfes ist auch für $t = 0$ $\varkappa$ kleiner als der für zweiatomige Gase gültige Wert 1,40.

Die Ermittlung des Exponenten n der Expansionskurve 3 4 der ausgeführten Maschine aus dem Indikatordiagramm ergibt die in Zahlentafel 10 zusammengestellten und in Abb. 9 veranschaulichten Werte. Im Mittel ist $n_{3\,4} = 1{,}27$. Während der Expansion wächst n von $n_3 = 1{,}15$ auf $n_4 = 1{,}33$. Im ersten Teil der Ausdehnung hat n einen kleineren Wert, entsprechend dem durch das Nachbrennen bewirkten flacheren Verlauf der Expansionskurve.

Man wird also beim Entwurf der Expansionslinie setzen können:

$n = 1{,}31$ für die Adiabate der verlustlosen Maschine,
$n = 1{,}27$ für die Polytrope der ausgeführten Maschine.

Infolge der während der Expansion noch stattfindenden Wärmezufuhr ergibt sich im zweiten Falle eine etwas größere Diagrammfläche.

Für die Verdichtungskurve der ausgeführten Maschine erhält man als Mittelwert für den Exponenten der Polytrope $n = 1{,}37$. [A 1937]

[1]) Vgl. hierzu auch Prof. Dr. Nusselt: Der Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine, Forschungsheft 264, insbesondere Anm. 2 S. 79.

Die Universitäten und Technischen Hochschulen Chinas.

Von Prof. Dr.-Ing. R. Plank, Danzig-Langfuhr.

Es wird eine Übersicht der wichtigsten Hochschulen Chinas gegeben und über einige Erfahrungen, die bei Gastvorlesungen im Sommer 1923 gesammelt wurden, berichtet.

Im Sommer 1923 habe ich in einer Reihe chinesischer Hochschulen Gastvorlesungen auf dem Gebiete der Wärmelehre und des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichtswesens gehalten und hierbei Gelegenheit gehabt, eine Anzahl solcher Anstalten, deren Organisation, Lehrkörper und Studentenschaft näher kennen zu lernen. Dabei interessierten mich weniger die sehr zahlreichen und mit reichen Mitteln ausgestatteten amerikanischen Missionsuniversitäten; ich beschränkte mich vielmehr fast ausschließlich auf Lehranstalten, die in rein chinesischer Verwaltung stehen und mit eigenen Mitteln betrieben werden. Das wissenschaftliche Niveau dieser Lehranstalten ist sehr verschieden, aber auch die höchststehenden unter ihnen sind im wesentlichen Unterrichtsanstalten und nicht Forschungsstätten. Das Hauptinteresse ist immer noch auf Philosophie und Literatur, neuerdings auch auf Soziologie gerichtet, während Naturwissenschaft, Medizin und Technik noch sehr wenig Berücksichtigung finden. Die meisten Universitäten haben sich aus Lehrerseminaren entwickelt und verdienen auch heute noch keine andere Bezeichnung. In einigen herrscht aber ein sehr fortschrittlicher Geist, wobei der Einfluß der aus Amerika zurückgekehrten Studenten (returned students), die jetzt als Professoren tätig sind, sehr stark ist. Die Mischung des überaus trägen, statisch veranlagten Chinesentums mit dem übertrieben dynamischen Amerikanertum ist an sich keine sehr glückliche. Im Gegensatz zu den aus Europa zurückkehrenden Studenten haftet den amerikanischen „returned students" häufig ein etwas oberflächliches, flaches und dabei doch überhebendes Wesen an, das besonders von den besseren Alt-Chinesen und Europäern unangenehm empfunden wird. Es muß dabei aber betont werden, daß die Alt-Chinesen überhaupt nur ihre alte, Jahrhunderte zurückliegende Kultur als solche anerkennen und nicht zugeben wollen, daß das China von heute eigentlich nur noch von Überlieferungen lebt. Die Exzesse der amerikanischen Dynamik werden von der trägen chinesischen Volkspsyche schnell genug abgestreift werden, und ein solches Übertreiben führt zunächst wenigstens dazu, die Gedanken aufzurütteln und eine neue Bewegung einzuleiten. Tatsächlich ist der amerikanische Einfluß in China auf allen Kulturgebieten heute wesentlich stärker als der europäische, was sich wohl hauptsächlich dadurch erklärt, daß der Zugang chinesischer Studenten nach Europa während des Krieges jahrelang versperrt oder doch gehindert war. Dieses Ergebnis ist für uns zwar bedauerlich, aber es muß objektiv zugegeben werden, daß der amerikanische Einfluß sicherlich kein schlechter war. Die amerikanischen Professoren arbeiten unbedingt selbstlos und hingebend mit dem einzigen Wunsche, den jungen Chinesen zu helfen. Jedenfalls sind die Amerikaner sehr großzügig vorgegangen, indem sie die seinerzeit erhaltene Boxerentschädigung für die Lösung von Kulturaufgaben in China verwendet haben.

Ich habe an folgenden Lehranstalten Vorträge gehalten: Deutsch-Chinesische Tung-Chi-Technische Hochschule in Woosung-Shanghai, Nationale Süd-Ost-Universität in Nanking, Chung Hwa-Universität in Wuchang (Prov. Hupeh), Reichs-Universität, Technische Hochschule und Tsing Hwa-College in Peking. Ich hatte aber Gelegenheit, noch eine Anzahl weiterer Hochschulen kennen zu lernen. Meine Vorträge hielt ich alle in deutscher Sprache. Die Übersetzung ins Chinesische besorgte der Präsident der Deutsch-Chinesischen Hochschule in Shanghai, Herr S. D. Yuan, der mich auf der Vortragsreise begleitete.

1. Shanghai (Provinz Kiangsu).

a) Schon vor dem Kriege lag auf dem Gebiete der französischen Konzession in Shanghai die Deutsch-Chinesische Hochschule mit einer technischen Fakultät (Bauingenieurwesen und Maschinenbau) und einer medizinischen Fakultät. Diese Anstalt befand sich unter deutscher Leitung und unterstand der Schulabteilung des Auswärtigen Amtes. Im Jahre 1917, nach dem erzwungenen Abbruch der diplomatischen Beziehungen Chinas zu Deutschland wurden die Gebäude und Einrichtungen von den Franzosen gestohlen und der Betrieb durch die Repatriierung aller deutschen Dozenten zwangsweise unterbrochen. Dem von der chinesischen Regierung neu eingesetzten Präsidenten dieser Hochschule, Herrn S. D. Yuan, einem Diplom-Ingenieur der Technischen Hochschule in Charlottenburg, gelang es durch tatkräftiges Eingreifen und energische Maßnahmen, die Studierenden zusammenzuhalten und den Unterrichtsbetrieb zunächst in provisorischen Räumen aufrecht zu erhalten. Seinen planvollen Bemühungen und seinem Einfluß bei den maßgebenden chinesischen Regierungsstellen ist es zu verdanken, daß bereits im Jahre 1921 die Deutsch-Chinesische Lehranstalt unter dem Namen der „Tung Chi"-Hochschule[1]) in chinesischer Regie, aber mit rein deutscher Unterrichtssprache in verbesserter und vermehrter Auflage neu erstanden ist. Die gesamten Gebäude sind in Woosung bei Shanghai von der chinesischen Regierung errichtet, die auch die laufenden Unkosten in Höhe von etwa 200 000 Silberdollar im Jahr bestreitet, während die deutsche Industrie die gesamte maschinelle Anlage und die Einrichtung der Laboratorien gestiftet hat. Geradezu vorbildlich eingerichtet sind die Lehrlingswerkstatt, das Maschinenlaboratorium, das elektrotechnische Laboratorium und die Materialprüfungsanstalt. Die zugehörigen Projekte stammen von dem langjährigen Dekan der Technischen Fakultät, Herrn Regierungsrat Professor Dipl.-Ing. B. Berrens, der sich um die Organisation des Unterrichts große Verdienste erworben hat.

Der eigentlichen Hochschule ist eine Vorbereitungs- und Sprachschule mit vierjährigem Studium vorgeschaltet, bei deren Absolvierung die Schüler der deutschen Sprache so weit mächtig sein müssen, daß sie dem Unterricht in der Hochschule folgen können. Dann kommt ein praktisches Jahr in der Lehrlingswerkstatt mit einigen wenigen vorbereitenden Vorlesungen. Das anschließende vierjährige Hochschulstudium wird, wie bei uns, nach zwei Jahren durch die Vorprüfung in zwei Teile geteilt, wobei die Sonderrichtungen — Bauingenieurwesen und Maschinenbau — erst im zweiten Teil in Erscheinung treten. Den örtlichen Anforderungen entsprechend erstrebt der Unterricht eine möglichst allgemeine, auf breiter Grundlage aufgebaute technische Durchbildung und keine Spezialisierung in Einzelgebieten. Seit April dieses Jahres zählt die Tung Chi-Hochschule zu den höchsten Bildungsanstalten Chinas und ist der Reichsuniversität in Peking in bezug auf die besonderen Rechte der Absolventen gleichgestellt. Die Hochschule erstrebt die Anrechnung ihrer Hauptprüfung als Vorprüfung beim weiteren Studium an deutschen Technischen Hochschulen. Dieser Wunsch ist sachlich durchaus gerechtfertigt.

Die deutschen Dozenten der Hochschule sind ausnahmslos Vollakademiker. Ihre starke dienstliche Inanspruchnahme (24 bis 26 Unterrichtsstunden wöchentlich) hinderte sie bisher, in erheblichem Maße wissenschaftlich produktiv tätig zu sein. Immerhin benutzt ein Teil von ihnen den Ferienaufenthalt in Deutschland, um an unseren Hochschulen zu promovieren und die moderne Entwicklung ihrer Gebiete zu verfolgen.

Die Hochschule in Shanghai ist für etwa 500 Studierende eingerichtet. Der Besuch ist aber zurzeit durch das nur etwa 200 Studierende fassende Internat beschränkt. Neben der Hochschule besteht auch noch eine Werkmeisterschule.

Die Medizinschule ist vorläufig noch in provisorischen Gebäuden untergebracht. Ein neues Gebäude für das Vorklinikum wird aber bereits auf dem neuen Gelände der Hochschule errichtet und wird vielleicht noch in diesem Jahr bezogen werden. Für die klinischen Semester dient das Paulun-Hospital in Shanghai. Die deutschen Ärzte sind sehr angesehen und haben neben ihrer Lehrtätigkeit eine sehr ausgedehnte und lohnende Privatpraxis. Die Absolventen der Medizinschule erhalten den Grad „Dr. med. Shanghai".

Die Verwaltung der Hochschule liegt in den Händen des „Tung Chi"-Ausschusses, in dem Chinesen und Deutsche paritätisch vertreten sind. Von chinesischer Seite wirkt in erster Linie die „Kiangsu Educational Association", entsprechend etwa dem Provinzialschulkollegium der Provinz Kiangsu. Deutscherseits sind führende Männer der in Shanghai ansässigen deutschen Industrie sowie der Handels- und Bankwelt vertreten. Der Erfolg der Anstalt beruht hauptsächlich auf dem verständnisvollen und reibungslosen Zusammenarbeiten des chinesischen Präsidenten S. D. Yuan mit dem deutschen Dekan Professor Berrens. Die hervorragenden Verdienste Yuans wurden durch Ernennung zum Doktor-Ingenieur ehrenhalber seitens der Technischen Hochschule in Charlottenburg gewürdigt[1]).

b) Nanyang-Universität. Diese hauptsächlich dem Studium des Eisenbahnwesens gewidmete und seit etwa 25 Jahren bestehende Hochschule mit englischer Unterrichtsprache untersteht dem Verkehrsministerium. Während es in Shanghai eine Maschinenbauabteilung und eine elektrotechnische Abteilung gibt, dient eine zweite, ebenfalls dem Verkehrsministerium unterstellte Hochschule in Tangsan (im Norden Chinas an der Peking-Mukden-Eisenbahnlinie) dem Studium des Eisenbahn-Bauingenieurwesens. Der Shanghaier Hochschule, die über ein schönes Gelände, ausgedehnte Bauten und eine gute Bücherei verfügt, ist eine Mittelschule und ein Gymnasium vorgeschaltet. Die ganze Anstalt zählt etwa 900 Schüler, von denen etwa 250 auf die Hochschulsemester entfallen. Bezeichnend für chinesische Verhältnisse ist, daß der Direktor dieser Universität, ein chinesischer Diplomat, im Sommer dieses Jahres durch einen Studentenstreik von seinem Posten vertrieben wurde. Die Studenten erklärten, daß sie nur einen fachkundigen Ingenieur an der Spitze ihrer Lehranstalt haben wollten, und setzten ihren Willen durch.

c) St. John's Universität unter amerikanischer Missionsleitung mit Fakultäten (Colleges) für Theologie, Literatur und Naturwissenschaften sowie neuerdings auch für Technik; zusammen mit der Vorbereitungsschule etwa 700 Hörer.

[1]) „Tung Chi" bedeutet im Chinesischen etwa „Hand in Hand-Arbeiten" und soll das deutsch-chinesische Kollaborat symbolisieren.

[1]) s. a. Jahresberichte 1922 und 1923 des Verbandes für den fernen Osten in Berlin W, Potsdamer Str. 28, sowie Jahresbericht 1923 der Hochschule.

d) Tung-Wei-Technische Fachschule, eine neu eingerichtete französisch-chinesische Schule in den Gebäuden der von den Franzosen geraubten alten deutsch-chinesischen Hochschule. Dieses Institut konnte sich bisher infolge Kompetenzstreitigkeiten keine nennenswerte Geltung verschaffen.

e) Vocational School, eine sehr gut geleitete chinesische Gewerbeschule nach Art der Tung Chi-Werkmeisterschule mit vierjährigem Lehrgang. Der Leiter dieser Schule, Herr Wang, ist ein Absolvent der deutsch-chinesischen Hochschule und hat seine Anstalt auf ansehnliche Höhe gebracht.

2. Nanking (Provinz Kiangsu). Wie Peking als politisches und Shanghai als geschäftliches, so dürfte Nanking zurzeit als geistiges Zentrum Chinas anzusehen sein.

a) Aus dem Nankinger Lehrerseminar entstand 1921 die Nationale Süd-Ost-Universität, die sich in der kurzen Zeit ihres Bestehens zu einer Stätte ernster Pflege der Wissenschaft entwickelt hat. Es besteht eine Fakultät für Kunst und Wissenschaft mit Abteilungen (Colleges) für Physik, Chemie, beschreibende Naturwissenschaften, Philosophie und Literatur, eine Fakultät für Technik, bei der vorläufig nur die Abteilung für Maschinenbau eingerichtet ist, aber weitere Abteilungen für Elektrotechnik und Bauwesen geplant sind, und eine Fakultät für Landwirtschaft mit einer großen landwirtschaftlichen Versuchstation. Außerdem besteht noch eine Abteilung für Handelswissenschaften, die aber in Shanghai liegt. Shanghai kann von Nanking mit der Eisenbahn in sieben Stunden und mit dem Schiff längs dem Yang Tse in 24 Stunden erreicht werden. Sowohl der Präsident dieser Universität, Dr. P. W. Kuo, wie auch die meisten Dozenten haben in den Vereinigten Staaten studiert und promoviert. Die Universität zählte etwa 600 Vollstudierende, die sämtlich eine schwierige Aufnahmeprüfung bestehen müssen, wobei nur etwa 10 vH der sich Meldenden berücksichtigt werden können. Das Studium wird an dieser Anstalt sehr ernst betrieben, und ich habe den Eindruck gewonnen, daß sie in kürzester Zeit in China eine führende Rolle spielen wird. Regelmäßig und zahlreich werden auswärtige Gelehrte zu Gastvorlesungen eingeladen, wobei ihnen jede nur denkbare Gastfreundschaft erwiesen wird. Ein schönes in einem Park gelegenes Wohnhaus mit großen, gut eingerichteten Zimmern wird den Gastprofessoren zur Verfügung gestellt. Hier wird auch für europäische Verpflegung gesorgt. Während meiner achttägigen Anwesenheit in Nanking traf ich dort einen Physikprofessor aus den Vereinigten Staaten und einen Maschinenbauprofessor aus Manila. Einige Monate vorher hatte auch der Leipziger Philosoph Dr. Driesch hier eine längere Vortragsreihe gehalten. Kein deutscher Gelehrter, der sich in China aufhält, darf versäumen, an dieser Stelle öffentlich aufzutreten. Ich wurde wiederholt gebeten, bekanntzugeben, daß jeder deutsche Gelehrte an der Nationalen Süd-Ost-Universität ein gerne gesehener Gast sein wird.

b) Nanking-Universität, von amerikanischen Missionaren gegründet und geleitet, mit Fakultäten für Kunst und Wissenschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft.

c) Eine Hochschule für Wasserbau, Flußregulierung und Hydraulik.

d) Ginling College, eine amerikanische Missionshochschule für Frauen und Mädchen mit rein weiblichem Lehrkörper.

e) Erste technische Mittelschule der Provinz Kiangsu.

f) Nanking ist der Sitz der „Science Society of China", die vor etwa zehn Jahren von chinesischen Studenten in Amerika gegründet wurde. Die Gesellschaft verfügt über schöne Räume und eine größere wissenschaftliche Bücherei, in der neben ausländischen Zeitschriften auch sämtliche in chinesischer Sprache periodisch erscheinenden Fachblätter zu finden sind.

3. Soochow (Provinz Kiangsu).

a) Die Soochow-Universität genießt einen guten Ruf, ich hatte jedoch keine Gelegenheit, sie kennen zu lernen.

b) Zweite technische Mittelschule der Provinz Kiangsu mit einer Textilabteilung.

4. Wuchang (Provinz Hupeh, am Yang Tse). Das Niveau sämtlicher Lehranstalten ist hier wesentlich niedriger als in der Provinz Kiangsu. Das Hochschulwesen befindet sich im ersten Stadium der Entwicklung.

a) Chung Hwa-Universität mit Fakultäten für Kunst und Wissenschaft, Literatur, Ökonomik und Soziologie. Die Anstalt leidet besonders unter dem Mangel an flüssigen Mitteln von seiten des Reiches und wird notdürftig, teils aus privaten Mitteln, erhalten. Die Honorierung des Lehrkörpers, die an sich äußerst niedrig bemessen ist, bleibt oft monatelang ganz aus. Im laufenden Jahr ist der Universität ein neues Gelände geschenkt worden, und es ist geplant, hier eine moderne Lehranstalt zu errichten.

b) Lehrerseminar.

c) Sprachschule mit Abteilungen für Englisch, Französisch, Deutsch und Japanisch. An dieser Lehranstalt wirkt seit vielen Jahren mit immer größerem Erfolg der deutsche Professor Konrad Glatzer, dessen Lehrtätigkeit und Rat in Kulturfragen auch von chinesischer Seite sehr hoch gewertet wird.

d) Im Mai 1923 wurde die Medizinschule gegründet, an deren Spitze der in Berlin promovierte Dr. med. Yutschang Tsching steht. Vorläufig sind nur die vorklinischen Semester in Betrieb genommen. Hier würde sich bei der sehr ungünstigen Konjunktur in Deutschland für manchen deutschen Arzt ein lohnendes Tätigkeitsfeld bieten, vorausgesetzt, daß die regelmäßige Honorierung der Dozenten von der chinesischen Regierung sichergestellt wird. Neben der Lehrtätigkeit kommt natürlich in ausgedehntem Maße auch Privatpraxis in Frage.

e) Amerikanische Missions-Universität.

5. Changsha (Provinz Hunan) an der Eisenbahnlinie von Wuchang nach Canton.

In den Räumen einer alten fremdenfeindlichen Mandarinschule am heiligen Yoloshan befindet sich das Polytechnische Institut mit drei Abteilungen für Maschinenbau, Bergbau und Chemie. Es ist dieses eine Provinzial-Regierungsschule, die nur für Hunanesen bestimmt ist. Die Provinz Hunan ist sehr reich an verschiedenen Erzen, besonders Antimon, Zinn, Silber und Wismut. In der Nähe von Changsha befinden sich auch die bekannten Kohlenbergwerke von Pingshiang. Das polytechnische Institut zählt 300 bis 400 Studenten. Als Leiter wirkte bis zum Frühjahr 1923 der Chinese Bu Tschen Bing, der in Charlottenburg studiert hatte, und sehr deutschfreundlich orientiert war. Infolge eines Studentenstreiks wurde er dann durch einen „american returned student" ersetzt. Die Unterrichtssprache ist englisch. Von 1916 bis 1920 existierte aber eine Maschinenbauklasse mit deutscher Unterrichtssprache.

6. Peking.

a) Die Pekinger Lehranstalten, besonders die Staats-Universität, leiden stark unter den verworrenen politischen Verhältnissen. Im Sommer dieses Jahres hat der Rektor der Universität nach unerfreulichen Auseinandersetzungen mit dem Kultusministerium sein Amt niedergelegt; er hält sich jetzt in Südchina auf. An den innerpolitischen Kämpfen beteiligen sich auch die Studenten sehr lebhaft, so daß von einem geordneten Studium kaum die Rede sein kann. Auch die finanzielle Frage ist sehr schwierig. An der Staatsuniversität wirken mehrere deutsche Gelehrte, so der Sinologe und wissenschaftliche Berater der deutschen Botschaft Dr. Wilhelm, der Nationalökonom Dr. Otte, der Professor für Literaturgeschichte Dr. Oelke u. a. Eine Reihe chinesischer Dozenten hat in Deutschland studiert.

b) Einen recht günstigen Eindruck planmäßiger Arbeit erhielt ich beim Besuch der Staatlichen Technischen Hochschule, deren Präsident Yu Tung Kwei seiner Aufgabe offenbar voll gewachsen ist und hiermit ein äußerst liebenswürdiges Wesen verbindet. Hier sind Abteilungen für Maschinenbau und Elektrotechnik, Chemie und Textilwesen vorhanden. Man findet hier große Werkstätten für verschiedene Spezialgebiete der chemischen Technologie, z. B. für Papierindustrie, Lederindustrie, Ölmüllerei u. a. Auf dem Gelände der Hochschule steht auch eine vollkommen eingerichtete Textilfabrik, die in erster Linie Lehrzwecken dient, aber doch auch produktiv arbeitet. Hier kann man unter vielem andern auch die Herstellung der ausgezeichneten und sehr dauerhaften chinesischen Wollteppiche sehen. Die finanzielle Lage läßt auch hier viel zu wünschen übrig.

c) Das Lehrerseminar.

d) Das von den Amerikanern gestiftete und sehr reich ausgestattete Rockefeller-Institut für Medizin.

e) Das Tsing Hwa-College, in der Nähe des alten Sommerpalastes, eine mit Mitteln der amerikanischen Boxerentschädigung gebaute und betriebene, von chinesischer Seite (Präsident Tsao) geleitete Lehranstalt, die auf einer Stufe zwischen Gymnasium und Universität steht. Die ganze Schule steht in einem großen, vorzüglich gepflegten Park. Die Gebäude und Einrichtungen sind ersten Ranges und durchweg auch in schönen Formen gehalten. An die Schulräume schließen sich die Wohnhäuser für die größtenteils amerikanische Dozentenschaft. Mit am sehenswürdigsten ist die Halle für Leibesübungen mit einem großen Schwimmbecken, allen möglichen Turngeräten und sanitären Einrichtungen. Daran schließen sich große Fußball- und Tennis-Spielplätze. Der Lehrkursus dauert 7 Jahre und erstreckt sich in der Regel auf das Alter von 14 bis 21 Jahren. Die Absolventen werden auf 3 bis 4 Jahre auf amerikanische Universitäten gesandt, wobei jeder einen monatlichen Zuschuß von 100 $ erhält.

7. Mukden (Mandschurei). Hier ist vor wenigen Wochen die Dung Pei (Nord-Ost-Universität) gegründet worden, die vorläufig in provisorischen Räumen untergebracht ist. Die einzelnen Fakultäten werden erst im Laufe der nächsten Jahre ausgebaut werden. Dabei ist die folgende Reihenfolge beabsichtigt: 1923 Literatur und Naturwissenschaften, 1924 Handel und Technik, 1925 Landwirtschaft, 1926 Rechtswissenschaften, 1927 Medizin. Um das Zustandekommen dieser Lehrstätte hat sich der frühere Leiter der deutsch-chinesischen Hochschule in Tsingtau, Obergrat Prof. Keiper, Verdienste erworben. Als Dekan der technischen Fakultät wurde Dr.-Ing. Dschau Ho Da, der in Deutschland studiert hat, berufen. Die zur Verfügung stehenden Mittel gestatten kaum, namhafte ausländische Gelehrte als Professoren zu gewinnen.

Die vorstehende Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sicher gibt es noch in einer Anzahl chinesischer Städte Lehranstalten, die mit Recht oder Unrecht als Universitäten bezeichnet werden. Eine erhebliche Bedeutung dürfte ihnen aber kaum zukommen. Die deutsch-chinesische Hochschule in Tsingtau ist seit der japanischen Besetzung in ein Gymnasium verwandelt worden. [A 2041]

CHRONIK 1923

(Schluß von S. 60.)

Heizung.

Brennstofflage Die Besetzung des Ruhrgebiets mitten in der Hauptheizzeit stellte, nachdem die schlimmsten Wirkungen des Krieges und der Revolution auf dem Gebiete des Hausbrandes gerade abzuebben begonnen hatten, die gesamte Heizungsindustrie vor ganz neue Aufgaben, größere, als sie der Krieg selbst zu lösen aufgegeben hatte. Zur Brennstoffteuerung, die sprungweise anstieg, kam noch der wirkliche Mangel an deutschen Kohlen und Kohlenerzeugnissen.

Ersatzbrennstoffe, namentlich Braunkohlen und Torf, die von der Ruhrbesetzung wenig beeinträchtigt wurden, erlangten höhere Bedeutung wie je zuvor, doch zeigte sich bald, daß ihre Verwendung im Haushalt und Gewerbe gegenüber Steinkohlen und Koks doch sehr an bestimmte Voraussetzungen örtlicher Art gebunden ist, daß namentlich die außerordentlich ansteigenden Frachten der allgemeinen Verwendung dieser stark wasserhaltigen und deshalb frachttechnisch ungünstigen Brennstoffe entgegenstehen.

Schornsteinlose Öfen Die ungünstige Brennstofflage machte es selbstverständlich, daß die Bestrebungen zum Ersatz von Kohlen und Koks wieder stärker hervortraten. In den Jahren unmittelbar nach dem Kriege hatten die sogenannten Kohlensparéinrichtungen ihr Unwesen getrieben, die aber im Jahre 1922 so gut wie ganz abgewirtschaftet hatten, nachdem das Publikum eingesehen hatte, daß die Verkäufer so ziemlich die einzigen waren, die mit ihnen Erfolge erzielten. Im vergangenen Jahr sind die schornsteinlosen Öfen an ihre Stelle getreten, d. h. Einrichtungen in Form von Kachelöfen mit einer eingebauten Petroleum-Lötlampe bzw. Gebläselampe oder auch offenem Gasbrenner, die wassergefüllte, abgeschaltete Zentralheizungskörper erwärmen sollen.

Solche Einrichtungen sind im Betriebe natürlich stets erheblich teurer als gleichwertige Öfen oder Zentralheizungen, von den gesundheitlichen Schädigungen, die durch die unvollkommene, abzuglose Verbrennung entstehen, ganz abgesehen.

Zentralheizungen und Heizbetrieb Die namentlich unter dem Einfluß der Mieterausschüsse und der Mieteinigungsämter seit zwei bis drei Jahren stark einsetzenden Bestrebungen auf teilweise und ganze Stillegung von Zentralheizungen in Wohnhäusern haben im Jahre 1923 sehr nachgelassen. Man mußte sich nach den Erfahrungen der vorhergehenden Jahre doch häufig davon überzeugen, daß die Einzelheizung in Häusern, die für Zentralheizung gebaut sind, größere Unbequemlichkeiten mit sich bringt und vor allen Dingen kaum eine so wesentliche Brennstoffersparnis ermöglicht, daß diese die unmittelbaren und mittelbaren Schäden der Umstellung aufheben könnte. Man hatte bei den oft planlos vorgenommenen Umstellungen fast immer übersehen, daß einem Minderverbrauch an Brennstoff eine diesen weit überschreitende Minderleistung an Wärme gegenübersteht, die sich besonders in gesundheitlicher Beziehung in oft geradezu erschreckender Weise zeigt. In größeren Geschäfts- und Dienstgebäuden konnte die Erfahrung gemacht werden, daß eine Zusammenlegung der Dienststunden zu durchgehender Arbeitszeit, wie sie in Berlin und Hamburg schon seit Jahrzehnten üblich ist, bei entsprechender Betriebführung erhebliche Heizersparnisse mit sich bringt. Es ist deshalb zu bedauern, daß die neuesten Verordnungen der Reichsministerien über die Verlängerung der Beamtenarbeitszeit gerade mit besonderer Schärfe eine Trennung bzw. Unterbrechung der Dienststunden vorsehen. Leider sind die zuständigen Sachverständigenstellen der Heizungsindustrie hierzu vorher nicht gehört worden. Weiter ist es sehr zu bedauern, daß Behörden und namentlich kommunale Verwaltungen aus ungenügender Sachkenntnis und falsch angewandter Sparsamkeit heraus immer wieder Dienstgebäude, auch Schulen, mit Einzelheizung versehen wollen.

In stärkerem Maß als in früheren Jahren ging man bei größeren Zentralheizungsanlagen zum Einbau von sogenannten Vorfeuerungen, Treppen- oder Muldenrosten vor den Kesseln oder von Sonderkesseln für die Verwendung von Ersatzbrennstoffen, namentlich Braunkohlen und Torf, über. Vielfach kamen auch recht brauchbare Einbauten für Kessel zur Verwendung von Ersatzbrennstoffen auf den Markt.

Auch im abgelaufenen Jahr erschienen einige neue Bauarten von leichten schmiedeisernen Heizkörpern mit geringem Wasserinhalt auf dem Markte, wie überhaupt die Bestrebungen der Heizungsindustrie, sich von den verhältnismäßig teuren gußeisernen Heizkörpern und Kesseln unabhängig zu machen, gute Fortschritte aufweisen.

Abfallwärme Die Ausnutzung der Abfallwärme zum Zwecke der Heizung wurde infolge der zunehmenden Geldentwertung im abgelaufenen Jahre stark beeinträchtigt, da größere Neuanlagen hierfür erhebliche Anlagekosten erfordern. Die in dem vorhergehenden Jahre gebauten Abwärmeanlagen, namentlich in Hamburg, Berlin und in einigen größeren Städten Süddeutschlands, haben im Betriebsjahr 1923 aber gezeigt, daß die Erwartungen, die man an sie geknüpft hatte, sich in technischer und wirtschaftlicher Beziehung voll erfüllt haben.

Forschungsarbeiten Die vom Forschungsheim für Wärmeschutz, München, dem die Wärmetechnische Abteilung des Verbandes der Zentralheizungsindustrie angegliedert ist, auf Grund vorliegender wissenschaftlicher Erfahrungen aufgenommenen Versuche zur Feststellung des Wärmedurchganges alter und neuerer Bauweisen sind geeignet, die Verwendung der Wärme und die Berechnung der Heizungsanlagen auf eine bessere wirtschaftliche Grundlage zu stellen. Bei diesen Versuchen wird der neuerdings vom Leiter des Forschungsheims, Dr.-Ing. Schmidt, erfundene, auch in der Praxis leicht verwendbare Wärmeflußmesser zur Bestimmung der Wärmeverluste wertvolle Dienste leisten. Auch der Raumwirkungsgrad von Heizkörpern wird vom Forschungsheim untersucht und der Schaffung eines Wärmemessers für Zentralheizungen nach Art der Wasser- oder Gasmesser besondere Sorge zugewandt. [M 2130] G. Dieterich.

Lichttechnik.

Hemmungen Die Entwicklung der wirtschaftlichen Verhältnisse und die katastrophale Geldentwertung übten im Jahre 1923 noch mehr wie in den vorangehenden bei uns einen unerbittlichen Zwang zum Sparen aus. Die Vervollkommnung bestehender und die Errichtung neuer Lichtanlagen hatten darunter schwer zu leiden. Die in Amerika jetzt allgemein als zweckmäßig anerkannte Verstärkung der Beleuchtung mit dem Ziel der Erhöhung der Arbeitsleistung konnte sich bei uns unter diesen Umständen noch nicht in nennenswertem Maße durchsetzen. Am meisten hatte die Gasbeleuchtung unter der ständigen Erhöhung der Preise zu leiden, aber auch dem Gebrauch des elektrischen Lichts in den Anlagen leistungsschwacher Abnehmer erwuchsen während der Zeit der stärksten Geldentwertung manche Schwierigkeiten. Stellenweise war sogar eine zeitweilige Rückkehr zur Petroleumbeleuchtung zu verzeichnen, die allerdings nur vorübergehend sein konnte, da diese Beleuchtungsart unbestritten bei weitem die teuerste ist.

Fortschritte Der Wegfall der behördlichen Einschränkungsvorschriften hat die elektrische Lichtreklame bei uns wieder aufleben lassen. Neben den auch heute noch für sie hauptsächlich benutzten Metalldrahtlampen gewinnen mit Neongas gefüllte Leuchtröhren in Buchstabenform für Reklamezwecke neuerdings Verbreitung; durch ihr intensiv rot gefärbtes Licht wirken sie besonders auffallend und weittragend. Als Lichtquelle für Sonderzwecke ist die Wolfram-Bogenlampe durch Einführung vereinfachter und vollständig selbsttätiger Zündung weiter verbessert worden.

Von den Arbeiten der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft sind die im laufenden Jahre neu herausgebrachten Leitsätze für die Beleuchtung im Freien (s. S. 87 dieses Heftes) zu erwähnen. Die messende Lichttechnik ist durch die Einführung des Beleuchtungsmessers von Bechstein, eines einfachen und doch für die meisten Gebrauchzwecke ausreichend genauen Meßgeräts, sehr gefördert worden. Mit ihm konnte eine leicht zu handhabende Schattenmeßvorrichtung unmittelbar verbunden werden. [M 32] Bloch.

Unfallverhütung.

Unfallverhütung als Wirtschaftsfrage Das abgelaufene Jahr hat einen in der Beurteilung und Durchführung der Unfallverhütung sich vollziehenden Wandel besonders hervortreten lassen: Wird die Unfallverhütung zwar immer noch in erster Linie aus menschlichem Mitgefühl als sittliche Forderung betrieben, so bricht sich doch mehr und mehr auch in den Kreisen, die der berufsgenossenschaftlichen Tätigkeit ferner stehen und nur mittelbar zur Verhütung beitragen können, die Erkenntnis Bahn, daß durch sie Ersparnisse erzielt werden, daß es sich um eine wirtschaftliche Notwendigkeit handelt. Verluste an erfahrenen Arbeitern, damit verbundene Betriebstörungen und hohe Entschädigungsleistungen belasten die Industrie und die gesamte Volkswirtschaft. Es geht um die Erhaltung der lebendigen Wertquellen unsres Volkes!

Gemeinschaftsarbeit An den Bestrebungen der Berufsgenossenschaften und der Gewerbeaufsichtsämter nehmen heute bereits in erheblichem Maße die Hersteller von Maschinen und Betriebseinrichtungen sowie die technischen Lehranstalten tätigen Anteil. Auf Ausstellungen und Messen wird die Unfallverhütung nicht mehr als nebensächlich behandelt. Diese Erfolge sind großenteils der Gemeinschaftsarbeit in der Arbeitsgemeinschaft für Unfallverhütung zuzuschreiben, die im Laufe des letzten Jahres durch den Beitritt des Vereins deutscher Gewerbeaufsichtsbeamten, des Verbandes der Deutschen landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften und der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure erweitert worden ist.

Die stärkere Beteiligung der Betriebsingenieure, deren Mitarbeit in den Berufsgenossenschaften vielfach zu wünschen übrig ließ, ist besonders wertvoll; denn nach allgemeiner Erfahrung ist für das Entstehen der Unfälle nicht immer die Betriebseinrichtung verantwortlich zu machen, sondern zum großen Teil auch der Umstand, daß zu wenig Wert auf möglichst unfallsicheres Arbeiten gelegt wird. In dieser Beziehung ist noch viel Aufklärungs- und Erziehungsarbeit zu leisten. Als solche Arbeit ist die Unfallverhütung über das Gebiet der reinen Sozialtechnik hinausgewachsen und auch zu einer Angelegenheit der Propaganda geworden, so daß sie nunmehr zugleich als ein sozialtechnisches, ein wirtschaftliches und ein psychologisches Problem betrachtet werden muß.

Das Bild als Erziehungsmittel Als wirkungsvolles und nicht zu kostspieliges Aufklärungs- und Erziehungsmittel für die Hebung des Interesses am Unfallschutz hat sich das einfache gezeichnete Bild durchgesetzt. Es führt dem Unternehmer und Betriebsleiter die für die Unfallverhütung falsche und richtige Regelung des Betriebes, dem Konstrukteur den falschen und richtigen Bau der Einrichtungen und dem Arbeiter das falsche und richtige Verhalten im Betriebe vor Augen. Es unterstützt den Unterricht in technischen

Lehranstalten und vermittelt der Allgemeinheit Verständnis für die Unfallverhütung.

In der Erkenntnis, daß die Frage erfolgreicher Verhütung durch Vorschriften und Strafmaßnahmen nicht gelöst wird, ist die Arbeitsgemeinschaft für Unfallverhütung bestrebt, durch Aufklärung, Erziehung und unmittelbare Einwirkung auf alle Beteiligten freiwillige Helfer zu gewinnen und ihnen die Kenntnis dessen, was zur Verhütung von Unfällen erforderlich ist, in leicht verständlicher Form zu vermitteln. [M 2127] Michels.

Wärmewirtschaft.

Wärmewirtschaft der Industrie

Bedeutende Erweiterung der Anwendung von kalorisch wohlfeilen Brennstoffen (Rohbraunkohle, Feinkohle, Schlamm) unter Kesseln und in Öfen aller Art, stärkere Beachtung des Rohbraunkohlentrocknungsproblems, Fortschritte in der Verwendung von Kohlenstaub, besonders in metallurgischen Öfen, Steigerung des Dampfdrucks im praktischen Betrieb über 30 kg/cm², zunehmende Einführung von Dampf- und Wärmespeichern, Zusammenfassung kleinerer Wärmewerke zu zentraler Wärmewirtschaft, — diese Entwicklungen traten in der wärmewirtschaftlichen Arbeit des Jahres 1923 in Deutschland besonders hervor. Da große Aufwendungen für Neuanlagen oder Umbauten immer schwieriger wurden, war die äußerst vielgestaltige Kleinarbeit auf allen Anwendungsgebieten der Wärme, insbesondere in der Klarstellung des Wärmeflusses in den verschiedensten Wärmeerzeugern und -verwendern und in der Verbesserung des Meßwesens, von mindestens gleicher Bedeutung. Das Verständnis für die Wichtigkeit wärmewirtschaftlicher Betriebführung und -Überwachung nahm — übrigens auch in Arbeitnehmerkreisen — zu, jedoch noch immer nicht überall in dem unbedingt erforderlichen Maße. Auf den Tagungen der großen technischen Vereine und in der technischen Literatur nahmen wärmewirtschaftliche Gegenstände einen breiten Raum ein. Die beratenden Wärmeingenieure hatten ausreichend zu tun; einige neue Erwerbsgesellschaften für Wärmeberatung wurden gegründet, bestehende Unternehmungen dieser Art, wie die Ingenieurgesellschaft für Wärmewirtschaft in Köln, vermehrten ihre Zweigstellen. Bei der Reichseisenbahn trat eine sorgfältig vorbereitete wärmewirtschaftliche Organisation unter Fühlungnahme mit den Wärmeberatungsstellen der Industrie, vor allem der Hauptstelle für Wärmewirtschaft und den Dampfkesselvereinen, in eine vorbildliche Tätigkeit ein. Auch bei einigen, bisher noch zögernden Industrien, (z. B. dem Gießerei- und dem Metallhüttenverband) entfalteten sich Ansätze zu gemeinschaftlicher wärmewirtschaftlicher Tätigkeit.

Anderseits traten durch die Ruhrbesetzung schwerste Hemmungen ein: Im besetzten Gebiet war jegliche Zusammenkunft der Fachgenossen unmöglich geworden; nur unter den größten Schwierigkeiten haben die Wärmestelle der Westdeutschen Dampfkessel-Vereine und die Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf, sowie der Kesselverein der Ruhrzechen in Essen ihre fruchtbare Tätigkeit auf wärmewirtschaftlichem Gebiet fortgesetzt. Doppelt hoch ist es anzuerkennen, daß selbst unter diesen Umständen diese Stellen die Praxis der Wärmewirtschaft und -technik durch äußerst wertvolle Mitteilungen bereichert haben. Auch im unbesetzten Deutschland verhinderte der Zusammenbruch unsrer Währung die meisten der beabsichtigten Zusammenkünfte.

Die gemeinnützige Tätigkeit der industriellen Wärmestellen erlitt schwere Einbuße; ihr Personal wurde fast durchweg eingeschränkt, teilweise wurden sie in ihrem Bestand bedroht, teils zum Jahresschluß aufgelöst. Dieses Erlahmen ist um so mehr zu beklagen, als die Industrie sich stark gemacht hatte, die vielfach angefeindete Tätigkeit der Landeskohlen- und Kohlenwirtschaftsstellen, die demnächst ebenfalls ihr Ende erreicht, durch umso nachhaltigere Förderung ihrer eigenen Wärmestellen zu ersetzen. Ein Menetekel für uns war der Internationale Kongreß für Brennstoffersparnis in Paris im Juni 1923, der zeigte, daß auch in den Ländern mit reichlicherer Kohlenversorgung die Verminderung des Brennstoffaufwandes mit allen erdenklichen Mitteln von Staat und Wirtschaft gefördert wird, um die Produktion zu verbilligen.

Wärmewirtschaft des Hausbrandes

Ein erfreuliches, aber leider noch recht vereinzeltes Beispiel für das wachsende wärmewirtschaftliche Verständnis bei den Verwaltungsbehörden ist die auf den Einfluß der Hauptstelle für Wärmewirtschaft zurückzuführende Gründung einer Wärmestelle für die staatlichen Betriebe und Gebäude Hessens. Die sichtbaren Erfolge des ersten Arbeitsjahres des Bayerischen Wärmewirtschaftsverbandes, der alle heiztechnischen Gewerbe- und Industrievereine Bayerns umfaßt, haben in diesem Jahre auch in andern Teilen Deutschlands zur Bildung oder Anbahnung wärmewirtschaftlicher Arbeitsgemeinschaften auf dem Gebiete des Hausbrandes geführt. Ihre durch ihre Zusammensetzung als neutral gewährleisteten Auskünfte und Beratungen, Vorträge und Untersuchungen ermöglichen ihnen bestes Zusammenarbeiten mit den Behörden und erhöhen ihre Werbekraft für den wärmewirtschaftlichen Gedanken. Auch die Schulung der Gewerbeangehörigen wird durch sie gefördert.

Wärmewirtschaftliche Belehrung der Bevölkerung

Der Sonderausschuß des Reichskohlenrates für Hausbrandfragen hat erhebliche Mittel zur Ausbildung der Lehrerschaft und der Gewerbeangehörigen in der Verbreitung des Sinnes für das Haushalten mit Wärme in der Bevölkerung des ganzen Reiches zur Verfügung stellen können. In seinem Auftrage hat die Hauptstelle für Wärmewirtschaft in Verbindung mit den auf diesem Gebiete sehr rührigen Landeskohlen- und Kohlenwirtschaftsstellen, den Landesgewerbeämtern, den Obersten Schulbehörden und insbesondere auch der Preußischen Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, sowie den heiztechnischen Berufsvereinigungen eine aufopferungsvolle und segensreiche Tätigkeit entfaltet. In Bayern hat der Bayerische Wärmewirtschaftsverband diese Tätigkeit ebenfalls mit bestem Erfolge ausgeübt. Gegen 50 000 Lehrer haben an Kursen teilgenommen, deren Veranstaltung in den Händen der genannten Organisationen und Behörden lag und beim Sonderausschuß des Reichskohlenrats für Hausbrandfragen eine einheitliche Zusammenfassung fand. Die Hoffnung ist berechtigt, daß diese Bestrebungen auch weiterhin nicht einschlafen werden. [M 2126] zur Nedden.

Materialprüfung.

Grundlagen

Bei der schon seit längerer Zeit im Flusse befindlichen Behandlung der inneren Vorgänge bei der Beanspruchung der metallischen Werkstoffe durch Prüfversuche (Zerreißversuch) wie durch reckende Verarbeitung wurde mit gutem Erfolg die Röntgenuntersuchung des Feinbaues in höherem Maße mit benutzt. Es ergaben sich wertvolle Aufklärungen, die auch für die innere Mechanik der Materialprüfungsversuche zweifellos von erheblicher Bedeutung sind und noch weitere wesentliche Aufschlüsse erwarten lassen.

In erfreulichem Maße fand in Amerika und — wenn auch zunächst nur in Form von Anfängen — in Deutschland eine Aussprache statt über die Organisation der Industrieforschung und der Untersuchungsanstalten in der Industrie, deren Hauptgebiet ja die Materialprüfung in weitestem Sinn ist.

Die Normungsarbeiten über Prüfverfahren waren Ende des Jahres soweit gefördert, daß mit dem Erscheinen der wesentlichen Normenblätter für Prüfverfahren Anfang 1924 wohl gerechnet werden kann.

Verfahren und Apparate

Von den grundsätzlich bekannten Materialprüfungsverfahren stand in Deutschland im Berichtjahr im Mittelpunkt des Meinungsaustausches besonders die Kerbschlagprobe. Moser, der schon im Vorjahre grundlegende Mitteilungen hierzu machte, legte dar, daß die Kerbschlagprobe eine „Arbeitsprobe" darstellt und daß die Kerbzähigkeit als solche abhängig ist einmal von der Arbeitskonstanten der Raumeinheit und zweitens von der Arbeitsschnelligkeit des zu prüfenden Stoffes, wobei die erstere in einer gesetzmäßigen Beziehung zur Kontraktion beim Zerreißversuch steht. Zugleich schlug er ein Prüfverfahren vor, das die von ihm klargelegten Sonderverhältnisse der Kerbschlagprobe berücksichtigt. Auch von andern Seiten erschienen Arbeiten, deren Ergebnisse sich im gleichen oder ähnlichen Sinne bewegen.

Auch die Dauerfestigkeit war Gegenstand neuer Untersuchungen, von denen besonders bemerkenswert sind Mitteilungen von Föppl und Ludwik über die Schwingungsfestigkeit sowie von Stribeck bzw. Moore und Kommers, wonach die Dauerfestigkeit proportional dem arithmetischen Mittel aus Zugfestigkeit und Streckgrenze sein soll. Es gelang ferner, das Einsetzen und Fortschreiten des Dauerbruchs mittels der Fryschen Ätzung zu verfolgen.

Von der englischen Firma Herbert wurde ein neuer Härteprüfapparat, der Pendel-Härteprüfer[1]), auf den Markt gebracht, der auf den Prüfkörper aufgesetzt und zum Schwingen gebracht wird, wobei aus den Schwingungen Rückschlüsse auf die Härte gezogen werden sollen.

Die Untersuchung von Metallen durch Röntgenstrahlen hat in Deutschland, wie bereits oben erwähnt, in erster Linie den Weg verfolgt, Aufklärungen über den Feinbau herbeizuführen. In Amerika ist daneben auch die Feststellung von Fehlstellen mittels der Röntgenuntersuchung weiter gefördert. Es gelang, erheblich stärkere Schichten zu durchstrahlen und Sonderverfahren zum Überwinden der durch verwickelte Form der Proben entstehenden Schwierigkeiten zu finden. Bei uns dürften der praktischen Verwertbarkeit dieses Untersuchungsverfahrens die hohen Kosten hinderlich bleiben. Auch an der Prüfung von Stahl auf Festigkeitseigenschaften und Fehlstellen durch vergleichende magnetische und elektrische Messungen ist gearbeitet worden, ohne daß aber scheinbar eine praktische Einführung in größerem Maße hat stattfinden können.

Von weiteren Einzelheiten wären zu nennen: neue Apparate zur Prüfung von Federn und Federblechen, in England ausgeführte Versuche, die Streckgrenze beim Zug- bezw. Druck-Versuch auf akustischem Wege festzustellen.

Prüfung von Metallen

Über die Festigkeitseigenschaften der Metalle, insbesondere von Eisen und Stahl, in der Wärme und Kälte erschienen neben einer großen zusammenfassenden Übersicht über das ganze Gebiet eine Reihe von weiteren fördernden Arbeiten. Besonders gepflegt wurde ferner das Problem der Verschleißfestigkeit von Eisen und Stahl, mehrere Maschinen für die Prüfung dieser Eigenschaft wurden vervollkommnet und erprobt und auch bereits wertvolle allerdings noch nicht abschließende Feststellungen über den Einfluß der Wärmebehandlung auf die Verschleißfestigkeit gemacht. Besondere Beachtung fand des weiteren die Untersuchung von Schweißstellen auf ihre Festigkeit und auf Fehlstellen, wobei in Amerika elektrische und magnetische Prüfverfahren zur Hilfe herangezogen wurden. Untersuchungen über die Brüche in Drahtseilen, über die insbesondere für Kesselblech wichtigen Fragen der Rekristallisation, über Schieferbruch und Flocken, über den Schwarzbruch im Stahl brachten wertvolle Aufschlüsse über Sonderfragen und

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 864.

zugleich auch wieder den Beweis der Notwendigkeit weiterer Untersuchungen und Forschungen.

Über die Prüfung von Gußeisen fanden in Amerika ausgedehnte Aussprachen statt, bemerkenswert ist die Anregung, bei der praktischen Beurteilung des Gußeisens die Struktur heranzuziehen.

Prüfung von feuerfesten Baustoffen Die planmäßige Untersuchung und Prüfung der für die verschiedensten Zweige der Industrie sehr wichtigen feuerfesten Steine ist bis in die jüngste Zeit in Deutschland leider recht stiefmütterlich behandelt worden. Um so erfreulicher ist es, festzustellen, daß in neuerer Zeit eine rege Arbeit eingesetzt hat, nachdem Amerika schon seit längerer Zeit mit gutem Beispiel vorangegangen war. Es wurden in Deutschland besonders Untersuchungen ausgeführt über Silikasteine mit dem Ziele, Prüf- oder Abnahmeverfahren zu schaffen, sowie an der Materialverbesserung mitzuwirken. Arbeiten hierüber sind abgeschlossen und werden in allernächster Zeit veröffentlicht werden.

Auch die Prüfung von Formsand, von dessen Beschaffenheit das herzustellende Gußstück in seinen Eigenschaften recht abhängig ist, hat Fortschritte gemacht. [M 15] E. H. Schulz.

Normung.

Abgeschlossene Normen Die Arbeiten des Normenausschusses der Deutschen Industrie sind trotz der ungünstigen Wirtschaftslage, in der sich die gesamte Industrie befand und die natürlich nicht ohne Rückwirkung auf die Arbeiten des Normenausschusses geblieben sind, ein erhebliches Stück weitergekommen. 186 neue Normblätter sind in Vertrieb gegeben, so daß die Gesamtzahl der bezugfertigen Normblätter jetzt 535 beträgt.

Außer den bereits im vorjährigen Bericht als abgeschlossen erwähnten Arbeiten auf dem Gebiete der Passungen, Gewinde und Formate sind jetzt die Transmissionsnormen und die Zeichnungsnormen als abgeschlossen zu betrachten. Erhebliche Fortschritte sind bei den Normen für Werkzeuge und Schrauben zu verzeichnen, so daß auch für diese Gebiete, für die ein völliger Abschluß nicht leicht erwartet werden kann, die Hauptarbeit getan ist. Für den Werkzeugmaschinenbau sind einige Normen zum Abschluß gebracht, deren wichtigste die Norm für Spindelköpfe mit Gewinde für Revolver- und Drehbänke und die Werkzeugbefestigung an Fräsmaschinen sind. Auch der Arbeitsausschuß für Keile wird demnächst in der Lage sein, seine Arbeiten zu beenden. Einen besonderen Hinweis verdienen die Arbeiten für Rohrleitungen, als deren Ergebnis 97 Entwürfe oder Vorstandsvorlagen in einem besondern Rohrleitungsheft zusammengefaßt sind. Hand in Hand hiermit geht die Bearbeitung der Armaturen, für die zahlreiche Normblätter endgültig herausgegeben werden können, sobald die Normung der Flansche abgeschlossen ist.

Auf dem Gebiete der Stahlnormung ist eine grundsätzliche Klärung zwischen Erzeugern und Verbrauchern zu verzeichnen, auch die Normen für Prüfverfahren für Werkstoffe können demnächst der Öffentlichkeit übergeben werden. Von den Arbeiten der Fachnormenausschüsse verdienen die des Engeren Lokomotiv-Normenausschusses (Elna) und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) sowie die Arbeiten auf dem Gebiete des Bauwesens besonders hervorgehoben zu werden, da gerade für diese Fachgebiete eine größere Anzahl Normblätter bezugfertig geworden sind.

Dinbücher Ein besonderes Verdienst hat sich der Normenausschuß durch die Herausgabe der „Dinbücher" erworben, in denen für abgeschlossene Gebiete das Ergebnis der Normungsarbeiten übersichtlich zusammengefaßt ist. Zum Dinbuch 1, Papierformate, das im vergangenen Jahre die zweite erweiterte Auflage erfahren hat, sind die Dinbücher für Gewinde, Passungen, Transmissionen und Zeichnungen hinzugekommen. In Bearbeitung sind Dinbücher für Schrauben und Werkzeuge. In spanischer Sprache sind drei Bücher herausgegeben, und zwar Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken (DIN 1000), Vorschriften für Eisenbauwerke der deutschen Reichsbahn und Transmissionen. Die Einführung der Normen in die Praxis ist durch die Herausgabe dieser Dinbücher wesentlich erleichtert.

Einführung der Normen in die Praxis Zahlreiche Firmen, die an den Arbeiten des Normenausschusses bisher nur mitgewirkt haben, die aber vor Einführung der Normen in ihre Werke einen gewissen Abschluß der Arbeiten auf bestimmten Gebieten abwarten wollten, betreiben nunmehr die praktische Einführung der Dinormen mit allem Nachdruck. Eine wesentliche Förderung haben diese Arbeiten durch die wiederholte Zusammenkunft der führenden Normeningenieure erfahren, zu denen einige Großfirmen eingeladen hatten. Ganz besondere Fortschritte hat die Einführung der genormten Papierformate gemacht, nachdem sich viele Großfirmen und Behörden hierauf eingestellt und auch führende Zeitschriften die Umstellung auf Dinformate bereits durchgeführt oder eingeleitet haben. Einige Schwierigkeiten macht aber immer noch die Beschaffung von Normteilen, die nach Dinormen hergestellt sind. Aber auch hier hat sich gegen Ende des Jahres eine Besserung durch Einrichtung der Dinbestellkartei gezeigt.

Die Dinbestellkartei hat die Aufgabe, die Verbindung zwischen Lieferer und Verbraucher von Dinormteilen herzustellen. Diejenigen Erzeuger, die die Fertigung von Dinormteilen betreiben, lassen sich in die Dinbestellkartei unter den für sie in Betracht kommenden Fachgebieten aufnehmen. Die Verbraucher erhalten einen wohlgeordneten Lieferantennachweis. Hierdurch wird die Beschaffung von Dinormteilen sichergestellt.

Normen im Auslande Die Bedeutung der Normen wird auch im Ausland in steigendem Maß erkannt. Dies beweist die Gründung von Normenausschüssen in andern Ländern, deren Zahl durch die Gründung je eines Ausschusses in der Tschecho-Slowakei und in Rußland auf 17 gestiegen ist. Eine Aussprache der führenden Sekretäre der verschiedenen Normenausschüsse hat im Juli dieses Jahres in der Schweiz stattgefunden. Durch Anerkennung in mehreren Ländern haben eine Reihe von Normen bereits internationale Bedeutung erlangt. Das sind an erster Stelle die Papierformate, die Normen für Kugellager und die Gewindenormen; auch hinsichtlich der Bezugstemperatur besteht weitgehend Übereinstimmung.
[M 14] Gramenz.

Unterrichtswesen.

Die technischen Fachschulen aller Grade hatten im verflossenen Jahr außerordentlich unter der allgemeinen Not und der Geldentwertung zu leiden. Das kam am schärfsten in der Lehrmittelnot zum Ausdruck, die in den letzten Jahren immer weiter um sich gegriffen hat und jetzt geradezu eine gefährliche Höhe erreicht hat. So ist z. B. der Stand der Büchereien an technischen Schulen erschreckend zurückgegangen, obwohl gerade jetzt diese Einrichtungen für den Studierenden und Schüler doppelt notwendig sind. Ebenso groß ist noch immer die Not der Studierenden selbst, die größtenteils nur unter harten Entbehrungen und überanstrengenden Nebenarbeiten und nur teilweise ihre Studien fortsetzen und beenden können. Die anzuerkennende private öffentliche Hilfeleistung und auch die seitens des Auslandes kann daran leider nur allzuwenig ändern. Demzufolge sind die im technischen Schulwesen gemachten Fortschritte und Änderungen verhältnismäßig gering.

Das Berufsschulwesen hat sich kaum weiter ausbreiten können. Das Berufsschulgesetz, das die Pflicht zur Fortbildung laut Reichsverfassung festlegen sollte, mußte wieder vertagt werden. Dagegen hat die Industrie, insbesondere des Maschinenbaues, der Ausbildung ihres technischen Nachwuchses große Aufmerksamkeit zugewendet. Trotz aller Hemmnisse ist eine größere Zahl von Werkschulen eingerichtet worden. Sie bedienen sich vielfach der Arbeiten des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen, die in engster Verbindung mit der Industrie aus der Praxis heraus geschaffen wurden. Neu erschienen sind Schlosserlehrgang und Formerlehrgang sowie Lehrtafeln, die insbesondere auf der großen Hamburger Gießereifachausstellung allgemeine Anerkennung gefunden haben und zusehends im In- und Auslande Verbreitung finden. Für die Ausbildung der Werkschullehrer ist im Charlottenburger Gewerbelehrerseminar ein dreisemestriger Kursus eingerichtet worden.

Mittelschulen Im mittleren technischen Schulwesen ist von der Angliederung einer werkmaschinentechnischen Schule an die staatlichen vereinigten Maschinenbauschulen Magdeburg zu berichten. Die Abteilung soll außer einer allgemein-technischen Ausbildung für den mitteldeutschen Bergbau auch die Sonderkenntnisse in der Brikettherstellung, im Abraum-, Kraftwerk-, allgemeinen Maschinenbau- und Werkstattbetrieb vermitteln. Das Technikum Hildburghausen wurde verstaatlicht. Im Reichsministerium des Innern ist ein Verzeichnis der mittleren technischen Lehranstalten ausgearbeitet worden, deren Abgangzeugnisse zum Eintritt in die mittlere Laufbahn des Reichseisenbahndienstes berechtigen.

Die sogenannten Betriebsfachschulen, die mehr den künftigen Betriebsmann als den Konstrukteur auszubilden suchen, haben sich weiter entwickelt. So ist zu den in Berlin (Versuchschule des DATSCH) und Charlottenburg vorhandenen noch die Betriebsfachschule in Essen hinzugekommen, die ihre Ziele auch auf den Maschinen- und Werkstättenbetrieb ausdehnt. Endlich ist die Gaußschule in Berlin ins Leben getreten, eine Betriebsfachschule für die feinmechanische Industrie, bei der erstmalig sowohl Abend- wie Tagesunterricht in organischem Zusammenhang erteilt wird.

Die Einführung der neueren betriebswissenschaftlichen Kenntnisse (Normung, Kalkulation usw.) in die Praxis wurde weiter gefördert, einmal durch die Unterrichtsmittel und Lehrblätter des DATSCH, dann aber auch durch den Normenausschuß selbst durch Herausgabe der DINbücher, durch die Ausbildungskurse für Kalkulation seitens der Arbeitsausschüsse Deutscher Betriebsingenieure und durch deren betriebstechnische Wanderausstellungen.

Hochschulwesen Den Preußischen Technischen Hochschulen sind die vom Staatsministerium genehmigten Grundsätze einer Neuordnung der Verfassungsstatuten zugegangen, durch die u. a. die Zweckbestimmung der Hochschulen auf breiterer Grundlage geregelt ist und die schon vorläufig getroffene Einrichtung von Außeninstituten und die Gliederung in Fakultäten endgültig festgelegt ist. Weitere Maßnahmen zum Ausbau und zur Reform sind in Anbetracht der schwierigen wirtschaftlichen Verhältnisse zurückgestellt worden.

An den Technischen Hochschulen in Dresden und München ist das selbständige Studium der Volkswirtschaftslehre neu aufgenommen worden, und zwar in München durch Übernahme der bisher selbständigen Handelshochschule. Vom sächsischen Ministerium sind für dieses Studium Stundenpläne und Prüfungsvorschriften für Diplomvolkswirte genehmigt worden. Das Diplomexamen setzt ein achtsemestriges Studium voraus und bildet die Vorbedingung für die Promotion auf diesem Gebiet. [M 34] Harm.

RUNDSCHAU.

Erd- und Wasserbau.

Die erste Eisenbetonstaumauer in Deutschland.

Von der Stadtgemeinde Vöhrenbach im Schwarzwald wird gegenwärtig eine Wasserkraftanlage erbaut, die aus dem Flüßchen Linach mittels Talsperre, Stollen und Rohrleitung 80 m Gefäll und im Mittel 380 l/s Wassermenge gewinnt. Die Anlage zeichnet sich vor allen Dingen dadurch aus, daß für die Talsperre zum ersten Mal in Deutschland eine Staumauer aus Eisenbeton in aufgelöster Bauweise[1]) ausgeführt wird. Die folgenden Einzelheiten dieses bemerkenswerten Bauwerkes sind einem Aufsatz von Dr.-Ing. Fr. Maier und Dr.-Ing. Kammüller[2]) entnommen.

Die Eisenbetonmauer, Abb. 1 bis 3, ist 145 m lang und 25 m hoch, sie braucht nur rd. 6500 m³ Beton, wogegen für eine Vollmauer 32 500 m³, also rd. das Fünffache, notwendig wäre. Zieht man Eiseneinlagen, Schalung und die für Eisenbeton erforderliche sorgfältige Arbeit in



Abb. 1. Staumauer aus Eisenbeton in aufgelöster Bauweise.

Betracht, so ergibt sich, daß die Eisenbetonmauer immer noch rd. um die Hälfte billiger ist als die Vollmauer. Ein weiterer Vorzug besteht darin, daß die in Einzelgewölbe aufgelöste Mauer etwa in der Hälfte der für die Vollmauer erforderlichen Zeit errichtet werden kann. Die Gewölbe liegen unter 50° gegen die Wagerechte geneigt und sind oben durch einen Knick etwas steiler aufgezogen. Der Druck wird von einem eisenbewehrten Traggewölbe, Abb. 4, übertragen, das Kreisbogenform mit etwas verstärkten Kämpfern hat und sich über einen Zentriwinkel von 130° stützt. Seine Dicke beträgt oben 40 cm, nach unten vergrößert sie sich auf 60 cm. Der gleichbleibende Innenhalbmesser beträgt 5,2 m.

Zum Schutze des Traggewölbes gegen alle unmittelbaren Einwirkungen des Wassers dient eine drahtbewehrte Schutzschicht. Gegen durchsickerndes Wasser trägt das Gewölbe noch auf einer Torkretschicht von großer Dichte einen Inertolüberzug (in Abb. 2 und 3 nicht gezeichnet). Der Zwickel über den Kämpfern ist zum Teil durch Magerbeton ausgefüllt, in dem das Sickerwasser nach unten ablaufen kann.

Die Abmessungen sind für 35 kg/cm² Druck- und 10 kg/cm² Zugspannung als Höchstwerte berechnet. Die Eiseneinlagen sind bei der Festigkeitsberechnung nicht berücksichtigt, sondern als weitere Sicherheit betrachtet. Die Gewölbe sind als eingespannt angenommen und die Spannungen in den Schnitten quer zur Gewölbeachse berechnet worden. Bei der Berechnung des Wasserdrucks mußte noch die Zunahme des Druckes beachtet werden, die durch die tiefere Lage der Kämpfer gegenüber dem Scheitel entsteht.

Voruntersuchungen ergaben, daß Pfeilerabstände von 9 bis 12 m und 130° Bogenwinkel für die Gesamtspannungen besonders günstig sind. Die oben 80 cm, unten 1,2 m dicken Pfeiler, die dreieckförmige Rippen bilden, wurden daher in Abständen von 10,8 m aufgestellt. Sie sind gegeneinander abgestützt, so daß die Knickgefahr erheblich herabgesetzt ist, und zwar oben durch einen darüberlaufenden Steg mit Unterzug, in der Mitte durch zwei kräftige Versteifungsrippen, Abb. 1 und 3. Zur weiteren Versteifung dienen Eiseneinlagen. Der vom Wasser abgewandte Anzug ist als Kopf verstärkt und eisenbewehrt. Bei Pfeilern und Gewölben ist zum Beton Traß zugesetzt, der den Beton auf längere Zeit elastisch hält und gut abdichtet.

Abb. 4. Schnitt durch das Gewölbe.

Abb. 2. Grundriß der Staumauer mit Hochwasserüberlauf.

Als besondere Eigentümlichkeit des Wasserkraftwerkes sei noch die Hangrohrleitung von 900 bzw. 1000 mm l. W. erwähnt, die aus Holz mit Eisenbetonmantel besteht. Die Dichtung wird von den in Form von Faßdauben aneinandergelegten und verspannten Hölzern übernommen, die Zugkräfte nimmt das im Beton eingelegte Eisen auf. Die Dauben sind je 2000 mm lang, 38 mm dick und 100 bis 108 mm breit; an

[1]) vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 118.
[2]) „Der Bauingenieur" Bd. 4 (1923) Nr. 4 S. 110.



Abb. 3. Querschnitt der Staumauer.

den Stoßfugen sind besondere Zwischenstücke eingelegt. Das Holzrohr ist einmal mit Holzzement gestrichen. Der 72 mm dicke Betonmantel enthält eine Spiralbewehrung. Der Beton soll Eisen und Holz gegen Außenfeuchtigkeit schützen. Die Leitungsverluste sind in einem solchen Holzrohr mit geglätteten Dauben geringer als bei Eisenbeton- und Eisenrohren, da die Reibungsziffer um rd. 20 vH niedriger ist.
[R 1971] Sd.

Lichttechnik.

Leitsätze für Beleuchtung im Freien.

Die Deutsche Beleuchtungstechnische Gesellschaft hat für die Beleuchtung von Straßen und Plätzen, Bahnhof-, Gleis- und Kaianlagen, Fabrikhöfen und dergleichen Leitsätze herausgegeben, denen wegen des Einflusses der Beleuchtung auf die öffentliche Sicherheit und den Verkehr weitgehende Beachtung zukommt. Aus den besonderen Anforderungen, die die Leitsätze stellen, heben wir folgendes hervor:

Die Beleuchtungsstärke, die im Freien als Wagerechtbeleuchtung in 1 m Höhe über dem Erdboden zu messen ist[1]), wird nach der mittleren Beleuchtungsstärke und nach der Mindestbeleuchtung an nicht durch Schlagschatten getroffenen Stellen bewertet.

Während der normalen Verkehrszeiten soll betragen	die mittlere Beleuchtungsstärke Lux	die Mindest-Beleuchtungsstärke Lux
auf Gleisfeldern	0,2 bis 0,5	0,1 bis 0,3
auf Gleisfeldern im Bereich der Weichen, auf Fabrikhöfen, auf Kaianlagen	0,5 „ 1,5	0,2 „ 0,5
auf Straßen und Plätzen		
mit schwachem Verkehr	0,5 „ 1,5	0,05 „ 0,3
mit stärkerem Verkehr	1,5 „ 5	0,3 „ 1
mit starkem Verkehr, auf Bahnhofsvorplätzen, Verkehrszentren in Großstädten	5 „ 10	1 „ 2

Alle Zahlen stellen Mindestwerte dar, die kleineren Zahlen dürfen gewählt werden, so lange die wirtschaftliche Not die Ansprüche zu vermindern zwingt.

Güte der Beleuchtung. Die Beleuchtung soll so gleichmäßig wie möglich sein. Zeitliche Schwankungen in der Beleuchtungsstärke sind zu vermeiden, ebenso scharfe Schlagschatten an Stellen starken Verkehrs. Störende Blendung durch die Lampen der öffentlichen Beleuchtung, durch Schaufenster- und Reklamebeleuchtung, durch Signallaternen muß vermieden werden; ihre Leuchtdichte ist zu diesem Zwecke durch lichtstreuende Mittel herabzusetzen.

Signallichter (an Baustellen, Eisenbahnanlagen, Straßenbahnkreuzungen, Schlagbäumen usw.) dürfen durch Lampen der öffentlichen Beleuchtung nicht überstrahlt werden und nicht mit ihnen verwechselbar sein.

Betrieb. Die Beleuchtung im Freien durch künstliche Lichtquellen ist in unseren Breiten erforderlich: im Winterhalbjahr von ¾ h nach Sonnenuntergang; im Sommerhalbjahr von 1 h nach Sonnenuntergang bis ¾ bzw. 1 h vor Sonnenaufgang. Außerhalb der normalen Verkehrszeiten kann die Stärke der Beleuchtung im Freien gegenüber den oben geforderten Zahlen je nach der Bedeutung der Straße, des Platzes usw. vermindert, unter Umständen auf den Betrieb von Richtlampen eingeschränkt werden. [M 33]

[1]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 811.

Metallbearbeitung.

Gepreßte Überhitzerrohrkappen.

Die Umkehr-Enden der Schmidtschen Lokomotivrauchrohr-Überhitzer sind besonders hoch beanspruchte Verbindungsstücke, da hier durch die enge Umführung des zu überhitzenden Dampfes eine Dampfwirbelung unvermeidlich ist und von außen die heißen Feuergase gleichzeitig die Kappe bestreichen. Beide Umstände tragen zum vorzeitigen Verschleiß der Umkehr-Enden bei. Die Notwendigkeit einer allmählichen Verstärkung nach dem Wendepunkt hin führte zu Versuchen, bei denen man durch Aufschweißen von Werkstoff die Kappen verstärkte. Diese Versuche hatten aber kein günstiges Ergebnis, da das aufgeschweißte Eisen eine zu geringe Widerstandfähigkeit aufweist.

Demgegenüber wendet die Hannoversche Maschinenbau-A.-G. das Preßverfahren an, durch das ohne Schwierigkeit an den gefährdeten Stellen eine beliebige Verstärkung der Wandfläche erzielt wird. Außerdem kann hierbei der von den Feuergasen getroffene Werkstoff gut durchgeschmiedet werden. Der Querschnitt im Innern wird hierbei so bemessen, daß Wirbelungen des Dampfes nach Möglichkeit vermieden werden. Autogene und Feuerschweißung muß an der Umkehrstelle vermieden werden.

Die Herstellung erfolgt in mehreren Arbeitsgängen, Abb. 5 bis 10. Der auf etwa 1000 °C erhitzte Werkstoff, ein Stück Flacheisen, wird unter einer Druckwasserpresse mit 200 kg/cm² Betriebsdruck in eine Vorform gepreßt, Abb. 5 und 6, die der äußern Gestalt der Überhitzerkappe entspricht, unter Berücksichtigung der für das Fertigpressen zu beobachtenden Werkstoffverteilung. Dieses vorgepreßte Stück wird bei 1200 bis 1300 ° C durch eine hydraulische Lochpresse in einem einzigen Druck fertiggelocht. Hierdurch erhält es innen die gewünschte Form eines Hohlkörpers; zu gleicher Zeit werden außen, falls erforderlich, die Nocken gebildet, Abb. 7 und 8. Der beim Pressen aus dem

Abb. 5 und 6. Vorform.

Abb. 7 und 8. Werkstücke gelocht, vier Nocken angepreßt und abgelängt.

Abb. 9 und 10. Eindrücken der Rohrenden.

Abb. 5 bis 10. Arbeitsgänge für die Hanomag-Überhitzerrohrkappe.

Preßgesenk heraustretende Teil des Werkstoffes wird in warmem Zustande durch eine Warmsäge abgetrennt, wodurch das Werkstück die vorgesehene Länge erhält. Im letzten Arbeitsgang wird das offene Ende der Rohrkappe in der Mitte zusammengedrückt, so daß zwei kreisförmige Anschlußstellen für die Überhitzerrohre entstehen, Abb. 9 und 10. Die sich in der Mitte berührenden Wandungen der Rohrkappe werden gleichzeitig mit den Überhitzerrohrenden verschweißt.

Das ganze Arbeitsverfahren ist auf neuzeitliche Massenfertigung zugeschnitten [2]). Preßstücke von verschiedener Länge (z. B. 100 und 130 mm) mit vier, zwei oder ohne Nocken werden in großer Anzahl hergestellt. Der Vorzug der gepreßten Rohrkappen besteht vor allem neben der wesentlichen Verstärkung am Wendepunkt und keinerlei Schweißung in der Nähe des Wendepunktes in den geringen Herstellungskosten. (Hanomag-Nachrichten Bd. 10 Juli 1923.) [1935] Sd.

[2]) Ähnliche Verfahren sind auch bei Ausbesserwerkstätten der Deutschen Reichsbahn eingeführt, wie auf der Wanderausstellung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure im Herbst vergangenen Jahres gezeigt wurde.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Berechnung und Konstruktion der Dampflokomotiven mit einem Anhang über elektrische Lokomotiven. Von W. Bauer u. X. Stürzer. 2. Auflage. Berlin 1923, C. W. Kreidels Verlag. 412 S. mit 428 Abb. im Text und auf 10 Taf. sowie 8 Zahlentaf. Preis geb. 20 Goldmark.

Infolge der Notwendigkeit, sich immer neuen Verhältnissen anzupassen, wird die Konstruktion der Lokomotiven sehr vielseitig und ihre Zusammenfassung in einem Buche sehr schwer. Ein Weg besteht darin, für die gangbarsten Bauarten gute Muster zu bringen, was aber stets Stückwerk bleibt. Für den älter und erfahrener gewordenen Konstrukteur, dem die üblichen Lösungen bekannt sind, bietet ein solches Verfahren weder beim Verfassen noch beim Lesen besondere Anregung. Diese Entwicklung scheint sich in der zweiten Auflage wiederzuspiegeln, die mehr den andern Weg einschlägt, Konstruktionsgrundsätze und Berechnungen zu bringen, was aber wieder den Anfänger, der Muster sucht, weniger befriedigt.

Das Buch ist also gegenüber der ersten Auflage ärmer an Konstruktionen, dagegen sehr reich an allgemeinen Betrachtungen. Sein Wert wird vielfach dadurch beschränkt, daß die Begründungen zwar angeführt, ihrem Werte nach aber nicht beurteilt sind. Manches ist sogar sehr anfechtbar, wie die längst durch die Erfahrung widerlegte Ansicht, man könne auf den Ausgleich der hin- und hergehenden Massen bei Zweizylinder-Lokomotiven verzichten, oder der Satz: „Die Barrenrahmen . . . werden der eleganten Bauart halber meist nur bei Vierzylindermaschinen angeordnet . . .“ Auch muß entgegen der Behauptung des Verfassers festgestellt werden, daß der Barrenrahmen nur in engster Verbindung mit dem Kessel Biegemomente aufnehmen kann. Viel Raum hätte durch Fortfall veralteter Kessel und Überhitzerbauarten gewonnen werden können, die höchstens zur Aufdeckung der darin enthaltenen Fehler angeführt werden sollten.

Verdienstvoll ist die Weiterbildung der Strahlschen Gleichung für die gleichwertige Heizfläche zur Berechnung der Überhitzerfläche, da die übliche Bestimmung nach Faustformeln sehr unsicher war. Der Wert des sehr gut ausgestatteten Buches, der auch durch die erwähnten Unvollkommenheiten nicht wesentlich herabgedrückt wird, liegt aber darin, daß es von einem Konstrukteur geschrieben ist, und deshalb die Konstrukteure einmal, mehr als bei den meisten Büchern, auf ihre Rechnung kommen. [B 2089] F. Meineke.

Werkstoffprüfung für Maschinen und Eisenbau. Von Dr. G. Schulze und Dipl.-Ing. E. Vollhardt. Berlin 1923, Julius Springer. 185 S. mit 213 Abb. Preis Gm. 7.

Eigenschaften der Werkstoffe — Zug- und Druckversuche — Biegeversuch — Knickversuch — Drehversuch — Scher- und Lochversuch — Schlagversuch — Dauerversuche — Technologische Prüfung — Härteprüfung — Prüfung auf Bearbeitungsfähigkeit — Eichung der Prüfmaschinen — Entnahme der Festigkeitsproben — Prüfung von Treibriemen, Seilen und Ketten — Prüfung der Werkzeuge auf Leistungsfähigkeit.

Deutsche Maschinenfabrik A.-G. Duisburg. **Druckluft, Teil 1: Maschinen zu ihrer Erzeugung.**

Das Buch hat die Aufgabe, einen Gesamt-Überblick über den derzeitigen Stand der Preßluftanlagen zu geben und für den eigenen Betrieb die am besten geeignete Maschine zu wählen. Der Inhalt führt dem Leser sämtliche Arten von Demag-Druckluft-Erzeugern vor Augen, Maschinen für kleine und mittlere Luftmengen sowie solche für höchste Ansprüche an Luftmenge und Arbeitsspannung.

Maschinentechnisches Esperanto-Wörterbuch der Grundbegriffe. Von Eugen Wüster. Deutsche Ausgabe. Leipzig 1923, Ferdinand Hirt & Sohn. 89 Seiten.

Versuchsergebnisse des Versuchsfeldes für Maschinenelemente Heft 5: **Versuche mit Fangvorrichtungen.** Von Dr.-Ing. G. Weber. München und Berlin 1923, R. Oldenbourg. 40 S. mit 47 Abb. Preis Gm. 3,20.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Eine Wärmeübergangsfrage.

Benutzt man die Nusseltschen Angaben[1]) in den Zahlentafeln 5 und 7, Jahrgang 1923 Seite 708, welche sich auf Wärmeübergang in kugelförmiger Bombe beziehen, und trägt die absoluten Temperaturen als Abszissen, die Wärmeübergangszahlen α_b als Ordinaten auf, so liefern für jeden Anfangsdruck p_0 die Verbindungen der Ordinatenendpunkte Kurven, welche das Bestreben haben, im Abszissenpunkt $T_w = \sim 300^0$ abs. zusammenzufließen, trotz der beträchtlichen Streuung der Versuchswerte.

Es erhebt sich damit die wichtige Frage, ob die Wärmeübergangszahl α_b für $T = T_w$ grundsätzlich Null gesetzt werden muß oder nicht. Alle bisherigen Formeln, auch die Formel von Nusselt, geben in diesem Fall stets endliche Werte an.

Für die stets positiv gedachte, durch Berührung abgeführte Wärme läßt sich nun schreiben:

$$Q_b = \alpha_b (T - T_w) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Somit müssen α_b und $(T - T_w)$ gleiches Vorzeichen haben, damit ihr Produkt stets positiv wird. Die α_b-Kurve verläuft daher über und unter der Abszissenachse und schneidet diese im Abszissenpunkte T_w, wo die Q_b-Kurve ihren Berührungspunkt hat.

Für verschiedene Anfangsdrücke lassen sich eine große Anzahl dieser Kurven gut darstellen durch

$$\alpha_b = a \ln \frac{T}{T_w} = b\, p^{2/3} \ln \frac{T}{T_w} = c\, \gamma^{2/3} \ln \frac{T}{T_w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

mit den von der Geschwindigkeit abhängigen Beiwerten a, b und c. Dann ist in der Tat $\alpha_b = 0$ für $T = T_w$.

Statt Formel (2) kann man auch schreiben:

$$\alpha_b = g \frac{(S - S_w)}{F_w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

wo $S - S_w = c_v \ln \frac{T}{T_w}$ die Entropie und F_w die Kugeloberfläche des spezifischen Volumens $v = \frac{1}{\gamma}$ bedeutet, während g wieder ein Geschwindigkeitsbeiwert ist.

Castrop i. W. R. Hennig.

Auf die Zuschrift des Herrn Hennig erlaube ich mir das Folgende zu erwidern:

Die Ansicht, daß bei der Temperaturdifferenz Null die Wärmeübergangszahl α auch den Wert Null annehmen müßte, ist schon von Hagemann (Proc. Inst. Civ. Eng. 1884 Bd. 77) vertreten worden. Aber sie wurde schon von Mollier in seiner klassischen Untersuchung über den Wärmedurchgang und die darauf bezüglichen Versuchsergebnisse, Z. 1897 S. 153, als unrichtig bezeichnet.

In meiner Abhandlung „Die Wärmeleitfähigkeit von Wärmeisolierstoffen“ (Forschungsheft 63/64 S. 80) habe ich durch Versuche gezeigt, daß bei Temperaturdifferenzen, die kleiner als 10° sind, die Wärmeübergangszahl linear mit der Temperatur zunimmt. Diese Gleichung gibt bis Null extrapoliert einen endlichen Wert. Ich habe dort auch nachgewiesen, daß die Lorenzsche Formel, nach der die Wärmeübergangszahl mit der vierten Wurzel aus der Temperaturdifferenz zunimmt, nach der also für den Temperaturunterschied Null die Wärmeübergangszahl Null wird, für kleine Temperaturdifferenzen nicht gilt.

Die Unrichtigkeit der Hennigschen Annahme läßt sich auch leicht aus dem Fourierschen Grundgesetz der Wärmeleitung ableiten. Betrachtet man die Abkühlung eines heißen Körpers in Luft und sieht man von der Strahlung zunächst ab, so wird bekanntlich die durch Wärmeleitung abgegebene Wärme durch die entstehende Luftströmung oder Konvektion stark vergrößert. Vernachlässigt man die Luftströmung, betrachtet man also die Luft als festen Körper, so erhält man einen unteren Grenzwert für die Wärmeüberganszahl. Nach der auf S. 11 meiner Abhandlung angegebenen Formel gibt unter diesen Voraussetzungen eine Kugel vom Halbmesser r in der Zeiteinheit an die Luft die Wärme

$$Q = 4 \pi r \lambda (t_1 - t_2)$$

ab. Führt man die Wärmeübergangszahl ein, so gilt

$$Q = \alpha\, 4 \pi r^2 (t_1 - t_2)$$

Der Vergleich beider Gleichungen liefert für die untere Grenze der Wärmeübergangszahl α die Beziehung

$$\alpha = \frac{\lambda}{r}.$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich α unabhängig von der Temperatur. Dieser Wert gilt also auch für den Temperaturunterschied Null. Es ist also die Wärmeübergangszahl α beim Temperaturunterschied Null grundsätzlich von Null verschieden. Für $r = 1$ cm wird z. B.

$$\alpha = 2{,}0 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}\, {}^0\text{C}^{-1}.$$

Der Vollständigkeit wegen sei noch gezeigt, daß auch die Wärmeübergangszahl der Strahlung für den Temperaturunterschied Null einen endlichen Grenzwert hat. Bezeichnet man mit C die Strahlungszahl der Oberfläche des Körpers, so ist nach dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz die Wärmeübergangszahl der Strahlung

$$\alpha_s = \frac{C}{10^8} \cdot \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} = \frac{C}{10^8} (T_1^3 + T_1^2 T_2 + T_1 T_2^2 + T_2^3).$$

Setzt man darin $T_1 = T_2$, so wird

$$\alpha_s = 4 \frac{C}{10^8} T_1^3.$$

Man erhält also auch beim Temperaturunterschied Null für die Strahlung einen endlichen Grenzwert. Es wird z. B. bei $t = 20\,°$C:

$$\alpha = 1{,}01\, C.$$

Karlsruhe. [Z 2133] Nusselt.

[1]) Der Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine, Z. Bd 67 (1923) S. 708.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 5 SONNABEND, 2. FEBRUAR 1924 BD. 68

I N H A L T

Über wissenschaftliche Arbeit und Forschung in der Maschinenindustrie[1].

Von Dr.-Ing. eh. G. Lippart, Geheimer Baurat, Nürnberg.

Das Wirkungsfeld wissenschaftlicher Arbeit und Forschung in der Maschinenindustrie wird skizziert und über die einschlägigen Verhältnisse verschiedener Industrien der Vereinigten Staaten von Amerika berichtet. Bemerkenswert hierbei ist die Organisation der Gemeinschaftsarbeit als eines der wichtigsten Mittel zur Steigerung wissenschaftlicher Leistungen. Es werden dann die Arbeiten und Einrichtungen der deutschen Maschinenindustrie besprochen und daraus Anregungen für die Förderung der deutschen technisch-wissenschaftlichen Forschung gefolgert. Sie gipfeln in einer Verbesserung der Gemeinschaftsarbeit durch Zusammenfassung des Nachrichtendienstes, Bildung einer großen Arbeitsgemeinschaft und Ausbau der örtlichen und fachlichen Sondergemeinschaften.

Meine Herren! Als ich das letzte Mal die Ehre hatte, vor Ihnen zu sprechen[2]), war von mir schon die außerordentliche Bedeutung der Wissenschaft für die Maschinenindustrie berührt worden. Damals handelte es sich um die wissenschaftliche Erziehung unseres Nachwuchses, die in erster Linie auf den Technischen Hochschulen geleistet wird, an der sich aber auch die Industrie selbst mit Lehrlingswerkstätten, Werkschulen, Praktikantenausbildung usw. beteiligt. Hierzu gehört auch die von dem leider zu früh verstorbenen Lasche begründete Technisch-wissenschaftliche Lehrmittelzentrale. Die Lehrgänge und Unterrichtstafeln, die in Gemeinschaftsarbeit mit dem Deutschen Ausschuß für Technisches Schulwesen entstanden sind, fangen an, sichtbare Wirkung auszuüben, und ihr Ruf geht schon weit über Deutschlands Grenzen. Heute ist die Erkenntnis von der Wichtigkeit wissenschaftlicher Erziehung Allgemeingut. Vorbei sind die Zeiten, wo Pioniere des deutschen Maschinenbaues, hervorgegangen aus dem Arbeiterstamm, von wissenschaftlich geschulten Ingenieuren als „papierenen Tagelöhnern" sprechen konnten. Aber noch nicht so allgemein erscheint mir die Anerkennung der andern Seite wissenschaftlicher Einwirkung auf die Industrie: der wissenschaftlichen Arbeit und Forschung. Gestatten Sie mir daher heute hierzu einige Bemerkungen.

Das Wirkungsfeld der Wissenschaft in der Maschinenindustrie.

Das Wirkungsfeld der Wissenschaft, im engeren Sinn der Naturwissenschaft nebst Mathematik, in der Maschinenindustrie ist sehr groß. Verfolgen wir es in großen Zügen bei der Abwicklung eines Auftrages. Er muß durch Verwaltungsstellen mit vorbereitet, durch die Verkaufsabteilung hereingeholt, im Konstruktionsbureau entworfen, in der Werkstätte ausgeführt werden, das Fertigerzeugnis ist beim Besteller aufzustellen und in Betrieb zu nehmen.

Bei den Verkaufs-, Konstruktions- und Verwaltungstellen tritt die Wissenschaft vornehmlich in der Verwendung wissenschaftlich geschulter Ingenieure in Erscheinung, die in Sonderfällen auch zu theoretischen Untersuchungen besonders mathematischer Art nötig werden. Augenfälliger ist die wissenschaftliche Arbeit in den Werkstätten und ihren Hilfsbetrieben. Hier muß die Konstruktionszeichnung verkörpert werden; Rohstoffe sind umzuformen, Halberzeugnisse zu bearbeiten, hierzu wieder Werkzeugmaschinen und Verkehrsmittel von Kraftmaschinen mit Energie zu speisen, endlich Fertigwaren zu prüfen; und Träger all der Wandlungen von Kraft und Stoff sind Menschen mit menschlichen Eigenschaften.

Wo früher gelegentliche Beobachtung und handwerksmäßige Erfahrung zur Beurteilung reichte, kommt heute das planmäßige wissenschaftliche Verfahren auf Grund reicher Sonderkenntnisse, um Werkstoffe und Halberzeugnisse zu untersuchen, Betriebstoffe zu prüfen, mit denen die Kraftmaschinen versorgt werden und die Arbeitsmaschinen zu arbeiten haben, die Bearbeitungsverfahren zu studieren, die Güte der Fertigerzeugnisse im Werk oder am Betriebsort festzustellen und die Eignung der menschlichen Kräfte für ihre Sonderzwecke zu ermitteln. Und zu diesen auf unmittelbar praktischen Nutzen gerichteten Aufgaben vorwiegend prüfender und überwachender Art können Forschungsarbeiten kommen, um vom höheren Standpunkt aus das Licht der Erkenntnis auf Stoffe und Kräfte und Menschen zu werfen, als Grundlagen weiterer technischen Fortschritte.

Die wissenschaftliche Arbeit in Amerika.

Bevor ich auf die Einzelheiten wissenschaftlicher Arbeit und Forschung in der deutschen Maschinenindustrie eingehe, möchte ich kurz auf die einschlägigen Verhältnisse in Amerika hinweisen. Als Quelle benutzte ich die lehrreichen Veröffentlichungen des Engländers Walther Rosenhain[3]) über seine Studienreise in den Vereinigten Staaten, die sich allerdings nicht bloß auf den Maschinenbau beschränkt.

Rosenhain stellt fest, daß die Bedingungen für Wissenschaft und Industrie in England und Amerika sehr verschieden sind, daher könne nicht gleiches Vorgehen in beiden Ländern gleich zweckmäßig sein; trotzdem könne man voneinander lernen. Die geistige Einstellung gegenüber der Wissenschaft ist bei den verschiedenen Industrien verschieden. Jede Industrie will natürlich verdienen und beurteilt auch, in manchen Fällen ausschließlich, die Wissenschaft von dem Gesichtspunkt, ob sie den Verdienst erhöht. Das wird bejaht, zunächst für alle Fälle, wo wissenschaftliche Tätigkeit auf unmittelbar praktischen Nutzen abgestellt ist. Aber es gilt auch für die selteneren Fälle freier Forschung, die die Naturwissenschaften um wertvolle Kenntnisse bereicherten und trotzdem oder vielmehr gerade deshalb den weitschauenden Firmen der elektrischen, Kraftwagen- und photographischen Industrie, die solche großzügige Forschung ermöglichten, reichen geschäftlichen Nutzen gebracht haben.

Betont wird, daß die amerikanischen Industrieführer, die weniger Wissenschaftler und Techniker sind als in England, vielfach aus idealen Gründen oft sehr freigebig wissenschaftliche Einrichtungen unterstützen. Anderseits sind die ideal gesinnten Gelehrten an Hochschulen meist schlecht bezahlt, was praktischer veranlagte Forscher häufig in den Dienst der Industrie, besonders der Eisenhüttenindustrie, führt. Diese hat dadurch zwar rascher unmittelbaren Nutzen, entzieht aber wertvolle Köpfe der Forschung und läßt so die eigenen Erkenntnisquellen versiegen; auf die Dauer selbst für ein so naturgesegnetes Land wie Amerika eine Gefahr, die durch die erfolgreiche Verwendung fremder Erkenntnisschätze nicht beseitigt werden kann.

[1]) Vorgetragen auf der Tagung des Bundes der Freunde der Technischen Hochschule München am 1. Februar 1924 in München.

[2]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 1109.

[3]) Science and Industry in America. „The Engineer" Bd. 134 (1923) Nr. 3533 bis 3537.

R. berichtet dann über die Tatsachen, die Einrichtungen und Verfahren, durch die sich das oben angedeutete geistige Verhältnis zwischen Wissenschaft und Industrie verkörpert. In der Kupfer- und Messingindustrie sind wissenschaftliche Verfahren für Herstellung und Betriebsüberwachung allgemein, wenn auch teilweise erst kürzlich an Stelle der urväterlichen, ängstlich gehüteten Faustregeln eingeführt, z. B. die Überwachung von Temperaturvorgängen mittels Pyrometer, Liefervorschriften auf Grund metallographischer Begriffsbestimmungen, Prüflaboratorien; in Kupferraffinerien teilweise auch Untersuchungen über den Einfluß metallischer Verunreinigungen; doch wird Forschung auf lange Sicht nicht versucht. Die Aluminiumindustrie ist jung, daher weniger nach Faustregeln entwickelt als auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnis, die aber mehr in der praktischen Anwendung nichtamerikanischer Kenntnisse als in selbständiger Forschungsarbeit besteht. Die im Krieg aufgeschwollene, jetzt wieder stark verminderte Nickelindustrie erforscht in ihren Laboratorien auch neue Verwendungsmöglichkeiten und damit neue Absatzgebiete für Nickel und seine Legierungen.

Der grundsätzliche Unterschied in der Rolle, die die Wissenschaft in der amerikanischen und englischen Metallindustrie spielt — in Amerika mehr unmittelbare Verwertung, weniger Forschungsarbeit, in England umgekehrt mehr Erkenntnisschöpfung, weniger praktische Anwendung —, spiegelt sich auch in dem zugehörigen Vereinsleben: in Amerika wenig entwickelte, in England große und angesehene wissenschaftliche Vereine. In beiden Ländern scheint eine Verbesserung des wissenschaftlichen Wirkungsgrades erwünscht, in Amerika mehr nach der Seite der Forschung, in England nach der der praktischen Verwendung, wozu vermehrte Gemeinschaftsarbeit durch Forschungsinstitute einerseits und Vereinigungen anderseits dienen können. In der Eisen- und Stahlindustrie liegen die Verhältnisse ähnlich. Trotz der Größe und Wirtschaftskraft dieser Industrie findet man wenig Forschungsarbeit, dagegen viel praktische Anwendung von Wissenschaft, besonders auf dem Gebiet der Wärmebehandlung von Stahl, z. B. für Federn und Kraftwagen.

Die Kraftwagenindustrie mit ihrem riesigen Absatzgebiet — 1923 kamen auf 100 Mill. Einwohner 11 Mill. Kraftwagen — bietet zwei kennzeichnende Beispiele für Wissenschaft in der Industrie. Die große Ford Motor Co., die 1923 allein 3 Mill. Wagen lieferte, benutzt alle wissenschaftlichen Hilfsmittel und besitzt große, vorzüglich ausgestattete Prüflaboratorien, dagegen keinerlei Forschungseinrichtungen. Die unmittelbarste Nutzanwendung ohne jede Förderung der reinen Wissenschaft steht hier so sehr im Vordergrund, daß der Berichterstatter von einem „parasiten“artigen Zehren von den Forschungsergebnissen andrer spricht.

Dagegen hat die General Motors Research Corporation ein mustergültiges Forschungsinstitut geschaffen, das unter anderm bekannt geworden ist durch seine Untersuchungen über „Gegen-Klopf“-Mittel, chemische Verbindungen, die, flüssigen Brennstoffen in kleinsten Mengen zugesetzt, gewissermaßen antikatalytisch Frühzündungen verhüten oder vermindern, was praktisch die Anwendung höherer Kompression und damit besseren Wirkungsgrad und größere Zylinderleistungen gestatten würde.

Die größten amerikanischen Forschungsstätten findet man in der elektrischen Industrie. Das liegt nicht nur in deren reichen Geldmitteln, über die ja andre auch verfügen, sondern an ihrer Entwicklungsgeschichte. Im Gegensatz zur metallurgischen Industrie, die aus reiner Handwerkspraxis entsprungen war, der nachträglich wissenschaftliche Verfahren aufgepfropft wurden, teilweise nur mangelhaft, wurde die elektrische Industrie aus großen wissenschaftlichen Entdeckungen geboren und hat sich mittels wissenschaftlicher Forschung auch weiter entwickelt. Kein Wunder, daß sie den Wert der Forschung, auch der freien, nicht unmittelbar auf den Nutzen gerichteten, gerade vom wirtschaftlichen Standpunkt so sehr zu schätzen weiß. Kennzeichnend hierfür ist der Ausspruch eines Amerikaners: „Wenn wir unsre Aufmerksamkeit nur der Verbesserung von Kerzen zugewandt hätten, würden wir nie elektrisches Licht gehabt haben.“

Das große Forschungslaboratorium der General Electric Co. ist ein leuchtendes Beispiel großzügigen Forschungsgeistes. Unter seiner Leitung befinden sich viele Gelehrte von wissenschaftlichem Ruf. Als Beispiel aus seinem riesigen Arbeitsgebiet sei genannt der drahtlose Verkehr mit der Entwicklung der Hochleistungs-Kathodenröhren, Untersuchungen über Wärmeverluste dünner Drähte und Verdampfung von Wolfram, die zu den gasgefüllten Lampen führten. Anderseits wurden gelegentlich des Studiums der Bearbeitungsbedingungen für Wolfram durch elektrische Zerstäubung feinster Wolframdrähte Temperaturen über 25 000° erzeugt, wie sie bisher nur bei den heißesten Fixsternen beobachtet sind. Und Versuche mit Spannungen von einer Million Volt, mittels neuer Transformatoren, lassen neue Einblicke in die Wirkung von Elektronen hoher Geschwindigkeit erwarten.

So werden neue Pforten wissenschaftlicher Erkenntnis aufgetan von wahrscheinlich auch weitreichender praktischer Tragweite. Die großen Laboratorien der Western Electric Co. sind mehr auf unmittelbaren Nutzen eingestellt, vornehmlich zur Bewältigung der Übergangsschwierigkeiten zwischen Laboratoriumsausführung und Großfabrikation, doch wird auch hier ziemlich viel reine Forschungsarbeit geleistet, z. B. die Röntgenstrahluntersuchung von Metallen und die Ermittlung der Herstellungsbedingungen von Platin großer und meßbarer Reinheit, das besonders für elektrische Messungen hoher Temperaturen nötig ist.

Die Glasindustrie fällt auf durch die weitgehende Mechanisierung der Erzeugung, die mehr auf schwieriger Ingenieurarbeit als auf Befolgung wissenschaftlicher Grundsätze beruht. Die Güte der Rohstoffe und der Arbeitsgang werden wohl mit wissenschaftlichen Verfahren überwacht, aber Untersuchungen über die Grundbedingungen für richtige Glaszusammensetzung und Arbeitsverfahren fehlen. Sie werden nur durch Probieren gewonnen im Gegensatz zu den festländischen wissenschaftlichen Arbeiten. Mehr Forschung findet man in dem einschlägigen Fachverein (der American Ceramic Society) und auf den Hochschulen und staatlichen Forschungsanstalten, dem Bureau of Standards und dem Geophysical Laboratory. Erstere ist die wohl größte Anstalt der Welt für Anwendung der Wissenschaft auf die verschiedensten Industrien, letztere ein weitaus kleineres, aber weltbekanntes Institut für reine Forschung. Es ist höchst bemerkenswert, daß sich auch hier die Ergebnisse zunächst rein wissenschaftlich eingestellter Forschung letzten Endes für die keramische Industrie von großem praktischem Nutzen erwiesen haben.

R. berichtet dann ausführlich über die gemeinnützigen wissenschaftlichen Anstalten an Universitäten und Colleges, an Arsenalen, Staatsanstalten und Stiftungs-Instituten. Er kommt dabei zu dem allgemeinen Eindruck, daß die Forschungsarbeit in Amerika, gerade infolge der zwar reichlichen, aber meist baldige Ergebnisse wünschenden Unterstützung seitens der Industrie nicht immer die freie Bahn hat, die für weitreichende Erkenntnisse Vorbedingung ist. Daß ferner die außerordentlichen Hilfsmittel, mit denen der Reichtum der amerikanischen Wirtschaftskreise verschiedene Anstalten ausgerüstet hat, manche Forscher zu bedrücken scheint, die, zu bescheideneren Hilfsmitteln genötigt, an einem erfolgreichen wissenschaftlichen Wettbewerb zu zweifeln beginnen. „Es wäre ein Unglück“, sagt R., „nicht nur für Amerika, sondern für die ganze Welt, wenn solche Gedanken Raum gewännen. Gewiß gibt es Forschungsarbeiten, die sehr große Mittel verlangen, aber sie bilden nicht die Regel. Der wahre Forscher kann auch mit einfachen Mitteln wertvollste wissenschaftliche Arbeit leisten. Das ist eine Frage der Persönlichkeit, nicht der Einrichtungen. Eine zu weit gehende Beeinflussung der Forschung und die Entziehung ihrer begabtesten Persönlichkeiten durch die Industrie ist eine Gefahr für diese selbst. Die Zukunft gehört der Nation, die es versteht, ihre fähigsten Köpfe der Wissenschaft zu erhalten.“

Im Jahre 1919 bestanden in Amerika, nach einer andern Quelle[1]), außer einer Anzahl staatlicher oder auf Stiftungen beruhender gemeinnütziger Institute 78 Erziehungsanstalten mit Maschinenlaboratorien, darunter 14 Universitäten und 25 Privatlaboratorien meist zur Prüfung von Handelswaren; Prüfungs- und Forschungsstätten der Industrie werden bei 94 Firmen namentlich angeführt. Bemerkenswert erscheinen mir die hier aufgeführten Formen von Gemeinschaftsarbeit. So hat die Eisenindustrie das Carnegie Institute of Technology mit einem lebensgroßen Walzwerk mit Sondereinrichtungen für abänderbare Versuchsbedingungen ausgerüstet. Firmen der Heizungsindustrie, der Tempergußgießereien, der Erzeuger landwirtschaftlicher Nahrungsmittel schließen sich gruppenweise zusammen, um auf ihre Kosten Laboratorien zu gründen bzw. Privatlaboratorien oder öffentliche Forschungsstätten mit wissenschaftlichen Aufgaben ihrer engeren Fachgebiete zu beauftragen.

Charakteristisch ist das Verfahren im Mellon Institute der Universität von Kansas. Der Auftraggeber — eine Firma oder eine Firmengruppe — stiftet eine Geldsumme, die mindestens ein Jahr alle Unkosten für Sondereinrichtungen, außer den vorhandenen, und die Gehälter der mit der Sonderaufgabe betrauten Forscher deckt. Die Forschungsergebnisse gehörten früher ausschließlich dem Auftaggeber; nach neueren Berichten (Rosenhain 1923) gestattet jetzt die Industrie in steigendem Maße Veröffentlichungen. Dagegen verbleiben die Sondereinrichtungen in der Regel dem Institut, das dadurch seine wissenschaftliche Ausrüstung ständig verbessert. Ähnlich verfährt das Maschinenlaboratorium der Universität von Illinois mit dem Unterschied, daß es alle Ergebnisse, auch die privater Auftraggeber, veröffentlicht; ferner die junge Maschinenversuchsanstalt an der Universität von Purdue, die möglichst in Gemeinschaft mit örtlich benachbarten Industrien arbeitet.

Seltener sind die Fälle, wo Ergebnisse privater Forschung der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden. So soll das von der amerikanischen Vereinigung der Heizungs- und Lüftungsingenieure gemeinschaftlich gegründete Laboratorium allen Fachgenossen wissenschaftliche Grundlagen geben. Die General Electric Co. hat einen Teil ihrer wertvollen Forschungsergebnisse veröffentlicht; sie gestattet in manchen Fällen auch fremden Gelehrten die Benützung ihres Nela-Park-Laboratoriums.

[1]) The present condition of research in the United States. Von A. M Greene. The American Society of Mechanical Engineers, Transactions Bd. 41 (1920) S. 31.

Höchst beachtenswert ist die Entwicklung des National Research Council. Dieser 1916 zunächst für den Weltkrieg auf Veranlassung des Präsidenten der Vereinigten Staaten von der Nationalen Akademie der Wissenschaften gebildete Ausschuß hat sich zur Förderung der Wissenschaft auf den verschiedensten Gebieten so bewährt, daß er nach Umorganisation für Friedenszwecke weiterwirken soll. Er umfaßt über 100 theoretische und praktische Wissenschaftler, verfügt über die Forschungsstätten von rd. 50 Hochschulen, 94 Großfirmen, 25 Privatlaboratorien und die großen Staatsanstalten. Daß dieser gewaltige Ausschuß, der die riesigen geistigen und materiellen Kräfte eines mächtigen, hochentwickelten Landes zusammenfaßt, als eines der wichtigsten Mittel für seine Zwecke die Förderung der Gemeinschaftsarbeit betrachtet zwecks Vermeidung von Doppelarbeit und Zusammenfassung aller Anstrengungen zur Hebung der Landeswohlfahrt unter besonderer Wahrung der persönlichen Initiative als Triebfeder wissenschaftlichen Fortschrittes, gibt auch uns sehr zu denken.

Ein Gegenstück zu dem großartigen amerikanischen Forschungsausschuß bildet in England das Scientific and Industrial Research Department. Diese ebenfalls im Krieg — 1917 — entstandene Körperschaft ist eine eigenartige Behörde, die die Hilfsquellen des britischen Reiches für die Zukunft mobil machen soll. Ihr Wirken beruht ebenfalls weitgehend auf dem Zusammenarbeiten mit den führenden Gelehrten und Industriellen des Landes. Ihr Personal besteht daher neben Verwaltungsbeamten aus gewählten Vertretern von Wissenschaft und Wirtschaft; ihr fließen Gelder auch aus Privatquellen zu; sie arbeitet zusammen mit Universitätslaboratorien, Vereinen und andern Körperschaften und Behörden, die an wissenschaftlicher Forschung beteiligt sind. Eine Absicht des englischen Parlaments bei Gründung des Departments war, dadurch den Zusammenschluß von industriellen Forschungsgemeinschaften anzuregen und sie für eine Übergangszeit von höchstens 5 Jahren, soweit nötig, zu finanzieren. Diese Absicht ist, vornehmlich infolge der auch in England ungünstigen Wirtschaftslage der letzten Jahre, nur teilweise verwirklicht worden, doch wurden immerhin 22 solcher Ausschüsse mit zahlreichen Unterausschüssen gebildet für Arbeiten auf den verschiedensten Gebieten reiner und angewandter Naturwissenschaft, wobei letztere zu überwiegen scheint. Ausführliches hierüber enthält die Besprechung des „Engineering"[1]) über den 8. Jahresbericht des Departments, der bei dieser Gelegenheit die unzulänglichen Geldmittel gegenüber den Aufwendungen der Vereinigten Staaten beklagt. Außer den Einnahmen aus dem Gründungskapital von 1 Mill. £ hatte das Department für 1920/21 nur 427 000 £ aus öffentlichen Mitteln auszugeben, während die gleichzeitigen amerikanischen Aufwendungen auf 10 Mill. $ staatlicher und 20 Mill. $ privater Gelder geschätzt werden. „So sehr", schreibt die Zeitschrift, „mögliche Ersparnisse in der Verwaltung erwünscht sind, so wenig angebracht sind sie bei Arbeiten, die die Saat zukünftiger Ernten bilden sollen."

Wissenschaftliche Arbeit und Forschung in der deutschen Industrie.

Wie steht es nun mit den wissenschaftlichen Arbeiten und Forschungen in der deutschen Industrie?

Zunächst fällt die entwicklungsgeschichtliche Ähnlichkeit auf. Der deutsche Maschinenbau ist, ebenso wie die deutsche Eisenhüttenindustrie, und im Gegensatz zu der wissenschaftgeborenen chemischen und elektrischen Industrie, im allgemeinen allmählich aus alten, handwerksmäßigen Anfängen erwachsen und trug die Eierschalen dieser empirischen Entwicklung lange mit sich herum. Anderseits ist im Lande der „Dichter und Denker" eine gewisse Wertschätzung der Wissenschaft auch in der Technik von vornherein zu erwarten. Zahlenmäßige Angaben hierüber stehen mir leider nur unvollkommen zur Verfügung. Immerhin ersieht man aus dem vom Verein deutscher Ingenieure herausgegebenen Handbuch „Deutsche Forschungsstätten technischer Arbeiten", daß es im Jahre 1919 232 deutsche Forschungs-, Versuchs- und Prüfanstalten für gemeinnützige wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiete der Technik und verwandter Wissenszweige gab.

Neben den Grundlagen der Naturwissenschaft, Physik, Chemie, Mathematik sind ihre verschiedensten Verwendungsgebiete vertreten, Maschinenbau und Bauingenieurwesen, Bergbau und Hüttenwesen, Faserstofftechnik und Nahrungsmittel, Wetterkunde und Gesundheit, Biologie, Land- und Forstwirtschaft und zahlreiche andre. Bunt wie das Arbeitsgebiet sind auch Organisation und Zweck dieser öffentlichen Einrichtungen. Es überwiegen die Laboratorien und Institute von technischen Hochschulen, die behördenartigen Ämter und freien Forschungsinstitute; seltener sind die von Industriegruppen gegründeten oder mitunterstützten Anstalten. Entsprechend stammen die Unterhaltsmittel meist aus öffentlichen Händen, teilweise aber auch aus privaten Kreisen oder aus beiden Quellen, zum geringsten Teil aus eigenen Einnahmen durch Prüfgebührnisse und dergleichen. Nicht minder vielgestaltig ist der Zweck dieser wissenschaftlichen Horte. Er zeigt alle Übergänge vom voraussetzungslosen Suchen nach Wahrheit bis zur unmittelbarsten praktischen Anwendung, wenn auch letztere zurücktritt: Erziehung und Unterrichtsaufgaben, reine Forschung durch theoretische Untersuchungen, planmäßige messende Beobachtung, Versuche, Prüfung von Stoffen, Einrichtungen, Verfahren, praktische Anwendung durch Einstellen von Forschung und besonders Prüfung auf unmittelbare Nutzanwendung, beratende, Gutachter- und Aufsichtstätigkeit. Die Auswahl der Arbeit im einzelnen erfolgt teils nach freiem Ermessen und Begabung des Forschers, meist nach den allgemeinen Richtlinien des Instituts, seltener auf Aufträge Außenstehender. Einige Anstalten sind auch fremden Gelehrten für wissenschaftliche Arbeiten zugänglich. Wegen weiterer Einzelheiten muß ich auf das Handbuch selbst verweisen, dem eine Ergänzung nach dem neuesten Stand zu wünschen wäre.

Spärlicher als über öffentliche Stätten der Wissenschaften fließen die Quellen über die entsprechenden Einrichtungen der Industrie, auch der mir näher stehenden Maschinenindustrie, auf die ich mich im folgenden beschränken muß.

Hierüber hat der Verein deutscher Maschinenbau-Anstalten im November 1923 eine Rundfrage bei einem Teil seiner Mitglieder veranstaltet. Auf 271 Anfragen an die Maschinen- und elektrische Industrie sind bisher nur 64 Antworten eingelaufen. Ich möchte daher bei der folgenden Besprechung des Ergebnisses im allgemeinen von zahlenmäßigen Angaben absehen, zumal ich hoffe, daß sich diese vorläufige Ermittlung durch eine breiter angelegte Umfrage später ergänzen lassen wird. Wenn auch zu vermuten ist, daß die Antworten in der Mehrzahl gerade von Firmen mit wissenschaftlichen Einrichtungen stammen, also keinen Schluß auf deren zahlenmäßige Verteilung in der Maschinenindustrie gestatten, so glaube ich doch, sie als Anhaltspunkt über die Art der wissenschaftlichen Arbeit in der Maschinenindustrie benützen zu können, da unter den Antworten Betriebe der verschiedensten Größe und Fachgebiete vertreten sind.

86 vH der antwortenden Werke besitzen wissenschaftliche Einrichtungen, die bei der Mehrzahl 10 bis 20 Jahre alt sind, vereinzelt mit ihren Anfängen sogar 50, selbst 70 Jahre zurückreichen; aus neuerer Zeit stammen auffallenderweise überwiegend eigentliche Forschungsstätten.

Der Umfang der Einrichtungen ist sehr verschieden, vom kleinen Prüfraum mit wenig Personal bis zu mehreren reich ausgerüsteten Laboratorien und besonderen Versuchsanstalten in eigenen Gebäuden. Ebenso verschieden ist die Organisation und Angliederung dieser wissenschaftlichen Stätten in den allgemeinen Betrieb, doch sind in der Regel die Prüfstände für Fertigerzeugnisse den zugehörigen Betriebsabteilungen angegliedert, während die Laboratorien, Materialprüfungstellen und Forschungstätten mehr oder weniger zusammengefaßt unmittelbar der Betriebsleitung oder weniger oft einer besonders interessierten Werkabteilung, z. B. der Gießerei oder Werkzeugabteilung, unterstehen; in seltenen Fällen sind große Prüffelder als selbständige Verwaltungstellen unmittelbar der Werkleitung unterstellt.

Überblickt man den wissenschaftlichen Aufgabenkreis, so steht im Vordergrund die Prüfung von Roh- und Halbstoffen, die im Werk verarbeitet werden, in erster Linie mittels mechanischer Prüfverfahren, was in der mechanischen Industrie begreiflich ist. Fast alle Werke besitzen Materialprüfungseinrichtungen zur Feststellung von Zug-, Druck-, Biegungs-, Verdrehungs- und Schlagfestigkeit, Härte und Elastizität. Geringer ist die Zahl chemischer Laboratorien, die vorwiegend Gebrauch- und Betriebstoffe, wie Wasser, Schmier- und Treiböl, Kohlen, Farben, Packungs- und Isolierstoffe usw. sowie auch Metalle zu untersuchen haben.

Nur etwa die Hälfte der antwortenden Firmen verfügt über metallographische Einrichtungen zur unmittelbaren oder photographischen Beobachtung. Dabei, glaube ich, kann man die Bedeutung der Metallographie für die rasche und sichere Beurteilung von Metallen nicht leicht überschätzen, seitdem wir wissen, wie wesentlich die Eigenschaften von Metallen schon durch geringe Stoffbeimischungen und die Art der mechanischen und Wärmebehandlung beeinflußt werden, und welchen bequemen Einblick in diese sonst nicht leicht feststellbaren Verhältnisse gerade die metallographische Untersuchung gewährt. Eine der angefragten Firmen schlägt denn auch vor, die Metallographie auf allen technischen Schulen als Pflichtfach einzuführen, was übrigens seit kurzem an der Berliner Hochschule geschehen ist. Physikalische Prüfeinrichtungen besitzen die wenigsten Werke; es sind in der Regel solche, die an Heizwertbestimmungen fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe, an Schmierölunteruchungen interessiert sind oder Meßinstrumente, z. B. Manometer usw., zu eichen haben.

Gegenüber den angeführten Prüfeinrichtungen für Roh- und Halbstoffe, die vornehmlich der laufenden Überwachung des Betriebes und Einkaufs dienen, treten an Zahl wenn auch nicht an Bedeutung zurück die Einrichtungen zum Prüfen von Fertigerzeugnissen. Einen gewissen Übergang bilden die Prüfstellen zum Untersuchen von Maßen, Lehren, Meßwerkzeugen, gewissermaßen kleine Eichämter, die in Werken mit Reihen- oder Massenherstellung zur Sicherung der Austauschbarkeit von Maschinenteilen eine wichtige Rolle spielen.

Anderseits sind Prüfeinrichtungen für ganze Fertigwaren naturgemäß besonders bei solchen Firmen die Regel, die bestimmte mechanische, hydraulische, wärmetechnische Eigenschaften ihrer Erzeugnisse zu gewährleisten pflegen und zur

[1]) The Scientific and Industrial Research Department in 1922/23. „Engineering" Bd. 66 (1923) Nr. 3018, 3019, 3021, 3024 und 3026.

Prüfung dieser Eigenschaften mehr oder weniger ausgebildete Prüfstellen besitzen. Hierher gehören die Prüfstände, auf welchen vor dem Verlassen des Werkes Kraftmaschinen auf Leistung und Brennstoffverbrauch, Pumpen, Ventilatoren, Werkzeugmaschinen und andre Arbeitsmaschinen auf Wirkungsgrad und Kraftbedarf untersucht werden.

Eine besondere Rolle spielen die Einrichtungen zum Untersuchen einzelner Maschinenteile nach bestimmten Gesichtspunkten, z. B. von Wellen und Schiffsantrieben auf Schwingungsfreiheit, von Turbinenrädern, Schiffschrauben und Riemenscheiben auf Massenausgleich (Auswuchten), die Ermittlung der Bedingung für Freiheit von Geräuschen und Erschütterungen. Das fällt vielfach schon unter eigentliche Forschertätigkeit. Ähnlich liegt es bei den Untersuchungen von Neuerungen an Konstruktionen und den damit zusammenhängenden Fragen. Sie werden teils durch Modellversuche, z. B. Bewegungsvorgänge von Brennstoffen auf beweglichen Rosten, Fahrwiderstände von Schiffen, teils an Versuchsmaschinen ausgeführt, wie bei Druckmaschinen, um die Abhängigkeit der Papier- und Druckgeschwindigkeit von der Art des Papiers, der Farbe, der Feuchtigkeit und Temperatur des Raumes zu studieren, teils werden die Versuche am Betriebsort selbst, wo die zu verarbeitenden Stoffe bequem zur Verfügung stehen, wie bei Arbeitsmaschinen für die Papier- und Zellstoffindustrie durchgeführt.

Letztere Verfahren bilden schon den Übergang zu den Prüfeinrichtungen für Arbeitsstoffe, die verhältnismäßig selten nur mehr bei Firmen gefunden werden, die Bauart und Gang der von ihnen zu liefernden Maschine Arbeitsstoffen von stark schwankenden Eigenschaften anzupassen haben. Beispiele bilden die Versuchseinrichtungen, um verschiedene Kohlen, Erze, Aufbereitungsverfahren zu untersuchen, um die Eigenschaften von Papieren, Pappen und Klebstoffen zu ermitteln oder das Verhalten solcher Stoffe, die landwirtschaftliche Maschinen zu bearbeiten haben.

Mehr verbreitet sind die Prüfstellen für Betriebsfragen. Zwar spielt die Untersuchung von Abfallstoffen, z. B. Abfallbrennstoffen, Schlacken, Müll, nur eine sehr geringe Rolle, ebenso die besondere Überwachung der Verwertung von Abfallenergie etwa durch Wärmestellen, obwohl die wirtschaftliche Energieausnützung selbst meist vorhanden sein dürfte. Dies ist verständlich, da die Energiekosten in der Maschinenindustrie nur einen kleinen Teil der Selbstkosten ausmachen.

Viel wichtiger sind hier die Fragen der wirtschaftlichen Fertigung. Und so sehen wir denn auch häufig das Studium der Herstellverfahren und Betriebsmittel, wie Zeitaufnahmen, Arbeitsvorbereitungen, Untersuchungen über Schnittgeschwindigkeiten von Werkzeugmaschinen, psychotechnische Prüfungen, Normung, Organisation der Verkehrsmittel usw. Die einschlägigen Untersuchungen werden in der Regel durch die Betriebstellen oder besonderen Fabrikationsbureaus vorgenommen, zumal ihre Behandlung schon stark das Gebiet praktischer Menschenkunde und wirtschaftlicher Organisation berührt.

Eigentliche Forschungsarbeiten nimmt nur eine, allerdings nicht kleine, Minderheit der antwortenden Firmen vor. Sie erstrecken sich zwar stets auf Aufgaben, die mit dem Fabrikationsprogramm der betreffenden Firma mehr oder weniger eng zusammenhängen, aber doch vielfach auch wertvolle allgemeinere Kenntnisse zutage fördern. Man kann dabei in großen Zügen unterscheiden Forschungen über physikalische und chemische Grundvorgänge, wenn auch häufig verwickelter Art, als Unterlagen für Entwurf und Bau von neuen Konstruktionen, Verbesserungen alter Bauarten und der Betriebsführung einerseits und Versuche mit den ausgeführten neuen oder geänderten Bauarten anderseits.

Hierfür einige Beispiele: Pumpenfirmen machen wissenschaftliche Untersuchungen über Druckumsetzung und Viskosität, solche für Destillationsapparate über Verdampfung, Destillations- und Extraktionsvorgänge; die Aufbereitungsindustrie studiert die Grundlagen der Schwimmaufbereitung, die Zerkleinerung verschiedener Stoffe, die Brikettierfähigkeit von Braunkohle, Erzen, Sanden. Kesselbauer erforschen den Wasserumlauf und Temperaturspannungen, Werkzeugfabrikanten Grundsätzliches über Passungen und Grenzlehren, Schnittvorgänge und Werkzeugformen, Festigkeit von Schleifscheiben und Verwendung von Ersatzmetallen. Eisengießereien machen Treffsicherheitsversuche und Feststellungen über zweckmäßigste Materialprüfverfahren. Dieselmotorenfabriken stellen wissenschaftliche Untersuchungen an über Temperaturen von Zylinderwänden, Spül- und Einspritzerscheinungen, Eigenschaften verschiedener Treiböle, über Betriebspannungen und Schwingungserscheinungen an laufenden Maschinenteilen; Lokomotivbauer suchen Fragen des Eisenbahnmaschinenwesens zu klären, die Kälteindustrie beleuchtet die thermischen Vorgänge bei Wärmeaustauschapparaten.

Die Ergebnisse solcher grundlegenden Forschungen sind meist von sehr großem praktischem Nutzen. Sie werden daher mit wenig Ausnahmen nicht veröffentlicht. Die auf Grund der neuen Erkenntnisse verbesserten oder neu entworfenen Konstruktionen oder Betriebsverfahren werden dann in weiteren Versuchen mit ganzen Maschinen oder Maschinenteilen erforscht, z. B. bei Werkzeugmaschinen, Pumpen, Ventilatoren, Buchdruckmaschinen, Kältemaschinen, bei Lokomotiven, Wasserturbinen und deren Reglern, Dieselmotoren, Lokomobilen und Hochdruckdampfkesseln. Als Forschungstätten für die grundlegenden Versuche dienen die schon oben erwähnten Prüflaboratorien, in Sonderfällen aber besondere Versuchsanstalten, während die Untersuchung ganzer Maschinen in der Regel auf normalen oder besondern Prüfständen vorgenommen wird. Wie weit zur wissenschaftlichen Auswertung von Massenmessungen, auch aus dem Betrieb, von dem neuen statistischen Hilfsmittel der „Großzahlforschung" Gebrauch gemacht wird, ist aus den Antworten so wenig ersichtlich, wie etwaige Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Kinematik.

Der Wert der Gemeinschaftsarbeit wird ebenfalls von einer erheblichen Minderheit der antwortenden Werke betont. Sie äußert sich teils in Beteiligung an Interessengemeinschaften, Studiengesellschaften, wissenschaftlichen Vereinen und gemeinnützigen Anstalten, wie die Kaiser-Wilhelm-Institute, teils in Übertragung von Prüf- und Forschungsaufgaben, zu denen die eigenen Einrichtungen oder die Zeit nicht reichen, an außenstehende Forschungsstätten.

Es handelt sich meist um Materialprüfungen, dann um Klärung von Arbeitsvorgängen bei Werkzeugmaschinen, von Kondensationserscheinungen, Gießereifragen, um metallographische Untersuchungen und Schiffsschleppversuche. Selten findet sich das umgekehrte Verfahren, daß außenstehende Gelehrte die Forschungstätten der Industrie benutzen, wie es bei den vom Ventilatorenausschuß des V. d. I. veranlaßten Untersuchungen von Normaldüsen für Luftmessungen der Fall war. Sie wurden unter Leitung eines Professors der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt auf dem Prüffeld einer Firma ausgeführt, und ihre Ergebnisse sollen demnächst veröffentlicht werden. Ein Zwischenverfahren schlägt eine Lokomotivbauanstalt ein, die Prüffelder an einzelne Hochschulen gegen Gewährung von Sonderrechten verlegt hat. Die Mitwirkung von Studierenden auf dem Versuchstand oder im Laboratorium wird erst von wenigen Firmen gemeldet.

So sehen wir auch in der wissenschaftlichen Arbeit der Maschinenindustrie, ähnlich wie bei den öffentlichen Instituten, alle Übergänge vom Standpunkt unmittelbarster Nützlichkeit bis zur reinen Forschung, wobei naturgemäß bei den gemeinnützigen Anstalten die reine Forschung überwiegt, in der Industrie die praktische Verwertbarkeit. Denn in der Regel wird eben nur die Möglichkeit späterer wirtschaftlicher Verwertung die Industrie überhaupt in den Stand setzen, ihre Einrichtungen, geistigen Kräfte und größere Geldmittel für wissenschaftliche Arbeiten zur Verfügung zu stellen. Anderseits bleiben den gemeinnützigen Instituten, die ja auch meist von öffentlichen Geldern leben, vornehmlich solche Forschungen, die einem großen Kreis zugute kommen und die Vorarbeiten und Grundlagen bilden für wissenschaftliches Weiterarbeiten auf Sondergebieten.

Diesen Unterschied kann man begrifflich etwa so fassen, daß die gemeinnützigen Institute vornehmlich reine Wissenschaft zu fördern haben, sowie den allgemeinen oder vaterländischen technischen Fortschritt, die Industrieforschung dagegen letzten Endes den Nutzen der einzelnen Firma. Daher lassen die ersteren ihre Ergebnisse durch Veröffentlichung der Allgemeinheit zugute kommen, die Industrie bewahrt sie dagegen meist für sich und schützt sie noch durch Patente usw. Arbeitsgebiete der öffentlichen Institute sind mehr allgemeine physikalische oder chemische Erscheinungen, Grundlagen der Erkenntnis und Messungen, wissenschaftliche Fragen von großer Tragweite, die der Industrie mehr Sondererscheinungen des engeren Faches und Versuche, die nur im Rahmen eines Großbetriebes ausgeführt werden können.

Förderung der deutschen technisch-wissenschaftlichen Forschung.

Überschaut man im ganzen, was in der deutschen Maschinenindustrie und den entsprechenden gemeinnützigen Anstalten an Forschung geleistet wird, so sieht man eine Fülle der vielseitigsten Arbeiten und Arbeitstätten mit großen Erfolgen für den Fortschritt deutscher Wissenschaften, Technik und Wirtschaft. Aber der Vergleich mit der großzügigen Zusammenfassung ähnlicher Arbeiten in Amerika in dem großen nationalen Forschungsausschuß läßt doch Bedenken auftauchen, ob die Vielfältigkeit deutscher technisch-wissenschaftlicher Forschung nicht schon die Gefahrengrenze der Kräftezersplitterung streift. Prof. Heidebroek hat in seiner Rektoratsrede vom 23. Oktober 1923 in Darmstadt, die sich übrigens auch sonst vielfach mit meinen Ausführungen berührt, ähnlichen Befürchtungen Ausdruck verliehen.

Dazu kommt die große Not, in der auch die deutsche Forschungsarbeit durch das jetzige Unglück unsres Vaterlandes geraten ist. Da ist es nicht nur moralische Pflicht, sondern wohlverstandenes Selbstinteresse der Industrie, daß sie nach Kräften mithilft, eine der wichtigsten Quellen ihres Gedeihens nicht versiegen zu lassen. Doch die Geldmittel der deutschen Industrie sind bei der immer schwieriger werdenden Wirtschaftslage beschränkt. Wir können in absehbarer Zeit nicht daran denken, den wissenschaftlichen Wettbewerb mit glücklicheren und reicheren Ländern, wie Amerika, nur durch materielle Mittel zu bestehen. Die Geschichte der Wissenschaft lehrt ja auch, daß der Wert wissenschaftlicher Arbeit durchaus nicht im einfachen Verhältnis

steht zu ihren materiellen Hilfsmitteln; so müssen wir versuchen, möglichst mit dem vorhandenen Pfund zu wuchern und den Geldmangel durch andre Mittel zu mildern.

Ein solches wichtiges Mittel ist nun, das zeigen auch die von mir kurz geschilderten Tatsachen, die Gemeinschaftsarbeit. Diese gilt es zu fördern, zwecks Zusammenfassung der Kräfte für lebenswichtige Aufgaben, besonders die Forschung, Vermeidung unnötiger Zersplitterung, planmäßige Arbeitsteilung. Der Wirkungsgrad der wissenschaftlichen Arbeit als Ganzes ist zu heben, wie es in engeren und weiteren Kreisen ja bereits versucht wird. Dabei dürfen wir ja nicht vergessen, daß wahre Wissenschaft frei sein muß und daß der echte Forscher geboren, nicht erzogen wird. Einzelvorschläge hierzu zu machen, muß ich Berufeneren überlassen. Doch darf ich mir vielleicht einige Anregungen dazu erlauben:

Ohne Forscher keine Forschung. Daher möchte ich auch an dieser Stelle nachdrücklich auf die Notwendigkeit wissenschaftlicher Erziehung und ständiger Fortbildung unsrer Ingenieure hinweisen.

Eine wesentliche Vorbedingung jeglicher Gemeinschaftsarbeit ist die leichte gegenseitige Verständigung. Die Forscher in Wissenschaft und Industrie müssen mehr voneinander wissen, von den Aufgaben, die vordringlich, von den Mitteln, die verfügbar sind, von den Arbeiten, die bereits von andern Stellen ausgeführt oder geplant werden. Hierzu genügen nicht die schon vorhandenen, meist für einen engern Kreis bestimmten Veröffentlichungsorgane. Ich kann mir denken, daß unsre älteste und verbreitetste wissenschaftliche Zeitschrift, die des Vereines deutscher Ingenieure, diesen Vermittlungsdienst übernehmen könnte, soweit die Maschinenindustrie in Frage kommt, etwa indem sie ständig einen bestimmten Raum zu kurzen einschlägigen Nachrichten zur Verfügung stellt.

Als eines der wichtigsten Mittel zur Hebung des Wirkungsgrades erscheint mir der Zusammenschluß zu einer großen Arbeitsgemeinschaft, wie sie z. B. in Amerika das National Research Council verkörpert. Da wir in Deutschland bereits viele wissenschaftliche Arbeitsgemeinschaften haben, als gemischt-wirtschaftliche Institute, Interessengemeinschaften, Stiftungen, Verbände — das obenerwähnte Handbuch des Vereines deutscher Ingenieure verzeichnet 48 gemeinnützige Organisationen — würde es sich wohl nur darum handeln, diese zu höheren Einheiten bzw. zum Arbeiten nach einheitlichen Richtlinien zusammenzufassen, natürlich unter Wahrung der Individualität der einzelnen Forschungsstätten. Vielleicht könnte diese organisatorische Aufgabe von den großen wissenschaftlichen Verbänden, etwa dem Deutschen Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine, oder von einer Arbeitsgemeinschaft der „Vereinigungen von Freunden Technischer Hochschulen", im Zusammenarbeiten mit den wirtschaftlichen Verbänden einerseits, den gemeinnützigen wissenschaftlichen Instituten anderseits in die Hand genommen werden.

Leider erfordert solche zentrale Organisation erfahrungsgemäß Zeit, die bei der Notlage der deutschen Wissenschaft nicht beliebig zur Verfügung steht. Man sollte daher inzwischen die Gemeinschaftsarbeit auch in engeren fachlichen oder örtlichen Gebieten fördern. Dazu könnte das schon vielfach geübte Verfahren ausgebaut werden, daß Sonderindustrien, die nicht über eigene oder genügend ausgerüstete wissenschaftliche Arbeitstätten verfügen, einzeln oder besser gruppenweise auf ihre Kosten benachbarte oder für die Untersuchung besonders geeignete öffentliche Forschungsstätten mit wissenschaftlichen Untersuchungen beauftragen. Die Industrie hätte dadurch mit mäßigen Kosten Unterlagen für wirtschaftliche Erfolge zu erwarten, die öffentlichen Institute die dringend nötige materielle Unterstützung und die Möglichkeit, ihre Einrichtungen allmählich zu verbessern, beide den Vorteil, der aus der engeren Fühlungnahme zwischen Wissenschaft und Praxis erwachsen muß.

Umgekehrt könnten, wenn auch vielleicht in selteneren Fällen, Forscher öffentlicher Institute an Industrielaboratorien tätig sein. Ferner könnten geeignete Studierende zwecks Ausbildung in Experimentaluntersuchungen beschäftigt werden, was die Hochschullaboratorien etwas entlasten und den Lehrern in der Wahl ihrer Aufgaben mehr freie Hand lassen würde. Prof. Goerens hat in einem sehr beachtenswerten Aufsatz ähnliches für die Eisenindustrie angeregt[1]). Schüchterne Anfänge hierzu sind in der Maschinenindustrie bereits zu beobachten.

Gewisse Schwierigkeiten sind hierbei nicht zu verkennen, die in dem Gegensatz liegen zwischen den geschäftlichen Absichten des Industriellen und den wissenschaftlichen des Forschers. Die Wirtschaft verlangt auf nahe praktische Ziele gerichtete, also beengte Forschung und Geheimhaltung des Ergebnisses, die Wissenschaft dagegen freie Bahn, Veröffentlichung und Autorschaft des Forschers. Und doch sollten sich diese Gegensätze bei beiderseitigem gutem Willen wohl überbrücken lassen, wenn man bedenkt, daß Forschungsergebnisse von unmittelbarer Nutzungsmöglichkeit meist von enger begrenztem wissenschaftlichem Wert sind und daher ohne Schaden für die Wissenschaft dem privaten Auftraggeber wenigstens eine Zeitlang vorbehalten bleiben können.

Anderseits sind Entdeckungen von großer wissenschaftlicher Tragweite selten unmittelbar verwendungsreif und erfordern zu ihrer wirtschaftlichen Verwertung noch sehr erhebliche wissenschaftliche und technische Sonderarbeiten. Ich brauche nur an den langen und schwierigen Weg zu erinnern, der von allgemeinen physikalischen Erscheinungen, der Kompressionswärme zum dauernd betriebsfähigen Dieselmotor, von dem winzigen Thomson-Joule-Effekt unter Lindes genialer Führung zur heutigen Tiefkälteindustrie der Gase geführt hat. Derartige grundlegende Forschungsergebnisse wird daher die Industrie meist neidlos und letzten Endes durch gegenseitige Befruchtung auch mit Nutzen für sich selbst dem Forscher und der Öffentlichkeit überlassen können.

Zwischen diesen Grenzfällen gibt es alle Übergänge. Und ich kann mir z. B. vorstellen, daß sich die Wirtschaft mit der Wissenschaft verständigen könnte über ein begrenztes Vorbenutzungsrecht für die Industrie mit späterer Veröffentlichung für die Allgemeinheit, wobei die zeitliche Begrenzung im Einzelfalle je nach der Wichtigkeit des Forschungsergebnisses für die Privatwirtschaft bzw. die allgemeine Wissenschaft abzustufen wäre.

Die gegebenen Stellen solch örtlicher Arbeitsgemeinschaften sind nun meines Erachtens die immer zahlreicher entstehenden Gesellschaften von Freunden Technischer Hochschulen und ähnliche Notgemeinschaften, denen hier eine dankbare Aufgabe winkt. Und so würde ich es begrüßen, wenn auch unser Bund der Freunde der Technischen Hochschule München als ein Kristallisationskern naturwissenschaftlich-technischer Gemeinschaftsarbeit im Sinne obiger Ausführungen mithelfen würde an dem Fortschritt deutscher Wissenschaft und deutscher Technik und damit auch an dem Wiederaufbau unseres schwergeprüften, geliebten Vaterlandes. [A 23]

[1]) Wissenschaftliche Forschung in der Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" Bd. 43 (1923) Nr. 37.

Schiffsdieselmaschinen mit Druckeinspritzung und Rädergetriebe.

Beschreibung einer aus vierzylindrigen Dieselmaschinen von 2200 PS$_e$ Gesamtleistung mit Rädervorgelege bestehenden Schiffsmaschinenanlage. Brennstoffeinspritzung ohne Druckluft. Elastische Stahlbandkupplungen zwischen jeder Dieselmaschine und ihrem Ritzel.

In dem Bestreben, Schiffs-Dieselmaschinen für große Leistungen zu bauen, lassen sich heute zwei Richtungen unterscheiden: auf der einen Seite der Übergang zum doppeltwirkenden Vier- oder Zweitakt unter Beibehaltung des unmittelbaren Schraubenantriebes, auf der anderen die Anwendung des Rädervorgeleges, durch das mehrere raschlaufende Maschinen gewöhnlicher Bauart ihre Leistung auf eine gemeinsame Welle übertragen. Eine zu dieser letzten Gruppe gehörige, in mehrfacher Hinsicht bemerkenswerte Anlage hat kürzlich die Falk Corporation in Milwaukee, Wisconsin, in dem Kraftwerk ihrer Fabrik zur Dauererprobung in Betrieb genommen[1]).

Die durchaus schiffsmäßig ausgerüstete Gruppe besteht aus vier umsteuerbaren Vierzylinder-Dieselmaschinen von je 550 PS$_e$ bei 200 Uml./min; diese treiben über vier elastische Kupplungen und zwei Ritzel eine gemeinsame Welle, die eine Dynamomaschine von 90 Uml./min trägt, Abb. 1. Die Maschine hat 482 mm Zyl.-Dmr. und 711 mm Hub, was dem mäßig hohen mittleren wirksamen Druck von 4,8 kg/cm² entspricht. Die Gesamtleistung von 2200 PS$_e$ hätte man ohne Schwierigkeit auch mit einer einzigen Dieselmaschine erzeugen können; die Falk-Gesellschaft wählte jedoch die Bauart mit Vorgelege, um Erfahrungen für den Entwurf wesentlich größerer Anlagen zunächst an einer Maschinengruppe von beherrschbarer Größe sammeln zu können. Der Einbau der Anlage in ein Dampfschiff als Ersatz für die Kolbenmaschine ist für später in Aussicht genommen; zunächst aber soll sie an Land ihre Betriebsicherheit erweisen; die Welle des getriebenen Zahnrades ist daher mit einer Dynamomaschine gekuppelt, die den Strom für das Werk liefert. Auch alle für den Betrieb der Hauptmaschine erforderlichen Hilfsmaschinen sind in vollkommen bordgemäßer Ausführung im Maschinenhaus aufgestellt.

Die von der Falk-Gesellschaft gewählte Lösung der ungewöhnlichen Aufgabe wird, soweit die Dieselmaschinen in Frage kommen, nicht den ungeteilten Beifall europäischer Konstrukteure finden. Entsprechend der amerikanischen Scheu vor der Einblaseluftpumpe wählte man Druckeinspritzung mit ungesteuerten Brennstoffventilen und erreichte dadurch zwar den Wegfall des Kompressors und der Brennstoffventilhebel, erhielt aber 16 Brennstoffpumpen, wovon jede wegen der bei Druckeinspritzung notwendigen, kurzen Druckleitung unmittelbar am zugehörigen Zylinder angebracht sein muß. Der Bauart des

[1]) Sonderheft der Zeitschrift „Motorship", Mai 1923.

Zylinderdeckels diente offenbar die kompressorlose Dieselsamtleistung von 2200 PS_e hätte man ohne Schwierigkeit auch mit einer einzigen Dieselmaschine erzeugen können; die Falkmaschine von Price[2]) als Vorbild; da diese zwei Einspritzdüsen für jeden Zylinder verwendet, weist die ganze Anlage die bedenklich große Zahl von 32 Einspritzventilen auf. Die Druckleitung jeder Brennstoffpumpe gabelt sich in einem Verteiler, von dem zwei gleich lange Leitungen zu den beiden Einspritzventilen führen. Der Verteiler soll mittels federbelasteter Ventile jeder Düse die gleiche Brennstoffmenge zuführen; das kann aber nicht verhindern, daß, wenn sich eine Brennstoffdüse verstopft, die andere unzulässig große Brennstoffmengen erhält, worunter die Verbrennung leidet. Diese scheint sonst, wenn die mitgeteilten Brennstoffverbrauchzahlen (185 g/PS_eh) richtig sind, nicht schlecht sein, doch läßt das Indikator-Diagramm, Abb. 2, die bekannte, unangenehme plötzliche Drucksteigerung vom Verdichtungsdruck (25 at) auf den Verbrennungsdruck

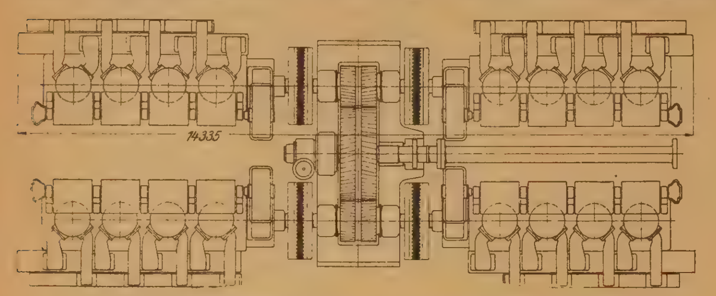


Abb. 1. Falk-Schiffsgetriebe mit 4 umsteuerbaren Vierzylinder-Dieselmaschinen.

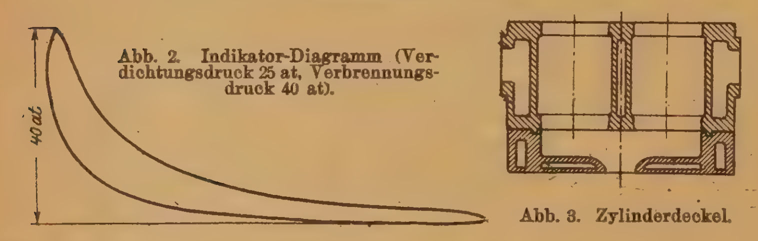


Abb. 2. Indikator-Diagramm (Verdichtungsdruck 25 at, Verbrennungsdruck 40 at).

Abb. 3. Zylinderdeckel.

(40 at) erkennen, die der Ruhe des Ganges und der Schonung des Triebwerks nicht förderlich ist.

Der Zylinderdeckel ist, weil er in einem Stück zu verwickelt geworden wäre, in zwei Teilen ausgeführt, Abb. 3, was den Nachteil hat, daß zwei Teilfugen abgedichtet werden müssen. Der untere Deckelteil enthält außer den beiden Brennstoffventilen eine Einschnürung, welche die Luftladung durchwirbeln soll; der obere nimmt das Einsaug- und Auspuffventil sowie ein ungesteuertes Anlaß- und Sicherheitsventil auf und erhält durch die symmetrische Anordnung dieser vier Ventile eine günstige Form. Einfach wird die Umsteuerung. Die Brennstoffventile werden nicht umgesteuert weil der Brennstoffnocken für Vor- und Rückwärtsgang symmetrisch zum oberen Totpunkt ausgebildet ist; auch die Anlaßventile im Zylinderdeckdl werden nicht umgesteuert, sondern von einem für alle Zylinder gemeinsamen Ventilkasten aus durch Druckluft betätigt. Lediglich die Einsaug- und Auspuffventile werden (nach dem Vorbild von Gebr. Sulzer) dadurch umgesteuert, daß ein am freien Ende

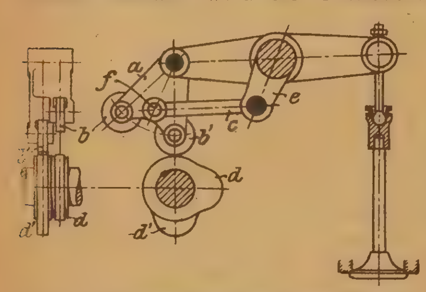


Abb. 4. Umsteuerung der Einsaug- und Auspuffventile.

des Ventilhebels angelenktes Pendel *a*, Abb. 4, das zwei in verschiedenen Ebenen liegende Rollen *b* und *b'* trägt, durch die Zugstange *c* umgelegt wird, so daß entweder der Vorwärtsnocken *d* oder der Rückwärtsnocken *d'* das Ventil öffnet. Die Hebel *e* eines Maschinenpaares sind miteinander gekuppelt, so daß die vier Maschinen gemeinsam umgesteuert werden können. Beim Umlegen der Umsteuerung werden die Zylinder dadurch entlüftet, daß die Rolle *f* von einer (in Abb. 4 nicht gezeichneten) federnd unterstützten Kurvenbahn in die Höhe gedrückt, und dadurch das Auspuffventil vorübergehend angehoben wird. Nur wenn der Druck im Zylinder höher ist als der, gegen den das Auspuffventil im gewöhnlichen Betrieb öffnet, gibt die Stützfeder der Kurvenbahn nach, damit das Ventil nicht gegen einen zu hohen Druck zu öffnen braucht. Das Umlegen der Umsteuerhebel geschieht durch einen Elektromotor und zwei Vorlegewellen von dem auf der oberen Plattform zwischen den vier Maschinen angeordneten Maschinistenstand aus, wobei die Umsteuerhebel so verriegelt sind, daß der Maschinist keinen falschen Griff tun kann.

Besondere Beachtung beanspruchen die elastischen Kupplungen, die zwischen jeder Dieselmaschine und ihrem Ritzel angeordnet sind. Sie müssen imstande sein, große Drehmomente zu übertragen und dabei doch sehr weich sein, damit die Zahnräder vor Stößen möglichst geschützt sind. Da sich die anfänglich eingebauten Lederringkupplungen wegen ihrer mit der Zeit veränderlichen Elastizität nicht bewährten, wurden sie durch Stahlbandkupplungen von Bibby ersetzt, deren Bauart

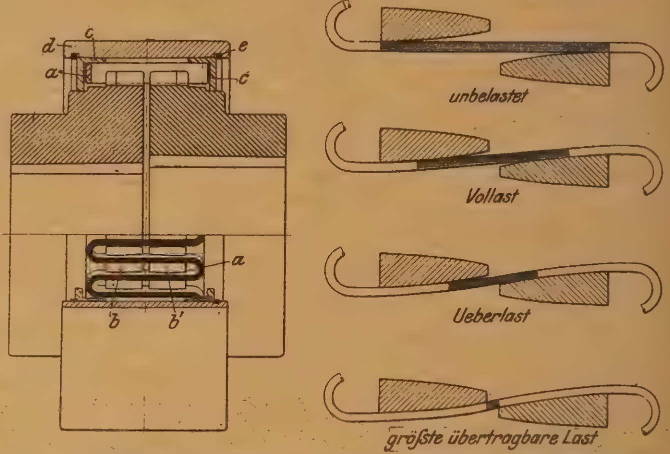


Abb. 5. Elastische Kupplung von Bibby. **Abb. 6. Verbiegung der Stahlbandfeder.**

Abb. 5 zeigt. Ein in Schlangenlinien gewundenes Stahlband *a* mit rechteckigem Querschnitt liegt zwischen den einander gegenüberliegenden Zähnen *b*, *b'* der treibenden und getriebenen Kupplungshälfte und verbiegt sich bei zunehmender Belastung entsprechend Abb. 6 mit immer kleiner werdendem Krümmungshalbmesser, bis bei dem größten übertragbaren Drehmoment das Stahlband ganz an den Zähnen liegt und seine Querschnitte auf Abscheren beansprucht werden. Das Stahlband besteht, damit man es leichter herstellen kann, aus Stücken von je etwa 12 Windungen. Die Fliehkraft der Bänder wird von zwei Ringen *c* von winkelförmigem Querschnitt sowie von dem kräftigen Deckel *d* aufgenommen, gegen den sich die Ringe *c* legen und der mittels eingelassener Kolbenringe *e* einen öldichten Abschluß nach außen bildet. Das Innere der Kupplung wird mit Öl oder Fett angefüllt.

Derartige Kupplungen hat man bereits für Drehmomente bis zu 70 000 mkg ausgeführt. Sie nehmen wenig Raum ein, lassen sich leicht auseinander bauen und haben den Vorteil, daß ihre reduzierte Länge durch Veränderung des Verhältnisses von Höhe zu Breite der Stahlbandfeder trotz gleichbleibender höchster Belastbarkeit geändert werden kann, so daß man es in der Hand hat, die Schwingungsform der Wellenleitungen so abzustimmen, daß die Verzahnung mit einem Schwingungsknotenpunkt zusammenfällt, was für die Lebensdauer der Zähne günstig ist. Für die Übertragung des wechselnden Drehmomentes von Kolbenmaschinen auf Zahnräder sind solche Kupplungen somit ohne Zweifel gut geeignet.

Mit dem Bau der beschriebenen Dieselmaschinenanlage hat die Falk-Gesellschaft die Lösung einer Aufgabe versucht, an die sich vorher noch niemand herangewagt hatte. Man wird, ehe man ein endgültiges Urteil fällen kann, abwarten müssen, wie sich Maschinen und Zahnräder im Betrieb bewähren.

[1968] Dr. Ss.

Neuere Heißdampf- und Hochdruckschieber.

Von Dr.-Ing. G. W. Koehler, Darmstadt.

Der Aufsatz behandelt die heute bekannten Dampfschieber mit einfachen und mit zwei parallelen Sitzflächen und hebt insbesondere den Vorteil der Hilfsventile hervor, welche ganz selbsttätig durch das Anziehen der Schieberspindel betätigt werden. Auch die bekannten Klappenventile, welche die Vorteile des freien Durchganges der Schieber mit denen der Ventile bezüglich des geringen Bewegungswiderstandes verbinden sollen, werden darin gewürdigt.

Dem Zeitalter der Konstruktion ist ein Zeitalter des Betriebes gefolgt"; mit diesen Worten kennzeichnet ein hervorragender Fachmann[1]) die neuere Richtung unserer Maschinentechnik. Im Betrieb aller Werke rückt die Verteuerung der Kraftstoffe (Kohle und Öl) die Wirtschaftlichkeit in den Vordergrund. Bereits vor dem Weltkrieg hatte eine eifrige und erfolgreiche Jagd auf Verluste bei Erzeugung und Ausnutzung des Dampfes begonnen; viele Verbesserungen an Dampfkesseln und Dampfmaschinen entsprangen diesem Streben. An Dampfleitungen verkleinerte man die Abkühlverluste durch Verringerung des Durchmessers und Zulassung höherer Geschwindigkeiten. Die bis dahin üblichen Absperrventile ergaben aber hierbei eine empfindliche Drosselung und mußten, da jeder Druckabfall auch einen Wärmeverlust bedeutet, durch vollkommenere Elemente ersetzt werden.

Zunächst versuchte man den bei Wasserleitungen bewährten Keilschieber, nur wurde für die Dichtungsringe eine hitzebeständige Nickel-Stahl-Legierung gewählt, das Gehäuse zeigte eine für die Gießerei günstigere Form, als das Ventilgehäuse, freilich mußten die schrägen Dichtflächen auf Sondermaschinen bearbeitet werden. Der gerade Durchgang beseitigte die Drosselverluste, eine mäßige Spindelkraft erzeugte eine starke Anpressung, die Durchflußmöglichkeit nach beiden Richtungen war ein wichtiger Vorzug für Ringleitungen, der doppelte Abschluß erhöhte die Dichtheit. Als Nachteile traten hingegen zutage: der große Hub von mindestens einem Rohrdurchmesser verlangsamt die Eröffnung und den Schluß; bei Heißdampf darf das Spindelgewinde nur außerhalb des Gehäuses angeordnet werden, die beträchtliche Bauhöhe der Schieber mit steigender Spindel macht oft Schwierigkeiten in engen Räumen; während die Sitzfläche der Absperrventile nach Abheben des Deckels zur Besichtigung freiliegt und ohne Mühe nachgeschliffen werden kann, verlangt der Schieber einen umständlichen Ausbau aus der Leitung; der Schieberkörper läßt sich wegen seiner Keilform nicht auf den Gehäuse-Dichtungsringen drehen.

Alle diese Schwächen aber waren Kleinigkeiten gegenüber dem grundsätzlichen Fehler, daß bei höheren Temperaturen infolge der ungleichen Dicke des Schieberkörpers die ungleiche Ausdehnung in Richtung der Rohrachse den dichten Abschluß vernichtete. Man wandte sich deshalb von den schrägen Dichtflächen ab und wählte fortan für Heißdampfschieber nur noch Parallelflächen.

Einseitige Schieber.

Eine ältere Ausführung dieser Gattung war der Universalschieber nach Missong mit einer einzigen zu den Flanschebenen parallelen Anlagefläche, Abb. 1. Der Schieberkörper *a* sitzt mit etwas Spiel auf der Spindel *b*, er wird durch eine zwischengelegte Blattfeder *c* vorgedrückt, und seine Vorderseite trägt eine aufgeschraubte Dichtplatte *d*, deren schräger Rand etwaige Absonderungen von dem Sitz *e* fortstreicht. Am Schieber *a* befinden sich zwei Lappen, die in kegelige Gegenflächen *f* des Gehäuses passen, so daß der Schieber in seiner tiefsten Stellung von ihnen vorgepreßt wird. Die Dichtplatte *d* als reiner Drehkörper kann mit geringen Kosten genau nachgeschliffen, oder im Notfall nachgedreht werden. Diese Bauart eignet sich nur für eine Durchflußrichtung, doch hat sie sich in chemischen, Zucker- und Zellstoffabriken für breiige und schlammige Flüssigkeiten bewährt.

Als eine in mancher Hinsicht ähnliche Konstruktion ist der einseitige Hochdruckschieber, Abb. 2, anzusehen. Der mittels Bolzens *a* an einem Auge der Spindel *b* hängende Schieber *c* hat seitliche Zapfen *d*, auf die in der Abschlußlage der Druck zweier Winkelhebel *e* wirkt. Beim Öffnen und Schließen gleiten die Zapfen *d* längs der senkrechten Schenkel von *e*; die sonst bei Absperrschiebern üblichen Führungsleisten im Gehäuse fehlen. Durch Stellschrauben *f* lassen sich die Hebel *e*, somit auch der Abstand, in dem sich der vom Dampf gehobene Schieber *c* vor der Sitzfläche *g* auf- und niederbewegt, und die Schließkraft regeln. Die gelenkige Aufhängung des Schiebers an der Spindel *b* schaltet, da *c* um den Bolzen *a* schwingen kann, den schädlichen Einfluß von Ungenauigkeiten der Her- und Einstellung aus und sichert eine gleichmäßige Anpressung. Um das Klappern des Schiebers bei wechselnder Dampfgeschwindigkeit zu vermeiden, versieht man das Gehäuse oberhalb des Sitzes mit einer Gegenplatte *h*, auf die der Schieber *c* beim Eröffnen übertritt. Der Schieber kann, freilich erst nach Entfernung der Hebel *e*, auf seinen Sitz *g* aufgeschliffen werden.

Doppelseitige Parallelschieber.

Die oben bewiesene Notwendigkeit, den an Wasserschiebern gebräuchlichen Keil zu meiden, und die Forderung, Hochdruck- und Heißdampfschiebern für Ringleitungen eine nach beiden Durchflußrichtungen gleichartige Ausbildung zu geben, riefen die doppelseitigen Parallelschieber ins Leben. Mangels längerer Erfahrungen wagte man anfangs nicht, im Dampfraum Hebel, Bolzen, Federn, Schrauben, Splinte und ähnliche Einzelteile anzuordnen, die sich stets lockern, bei den hohen Dampfgeschwindigkeiten selbst durch Wasserabscheider mitwandern und in den Maschinen Unheil anrichten können; denn bei der Wichtigkeit großer Kraftwerke für die Versorgung weiter Gebiete mit elektrischem Strom und dem Werte der riesigen Maschineneinheiten würden solche Betriebstörungen gewaltige Verluste bedeuten.

Ein Wagnis war es zwar, zwischen die in das Gehäuse verstemmten Dichtungsringe eine nur wenige Millimeter schmalere Platte zu senken und sich auf die Anpressung des Schiebers durch den Dampf, statt durch den Spindeldruck zu verlassen; die Versuche gelangen jedoch, und auf Grund dieses Ergebnisses entstanden dann einige Ausführungen mit starrem Schieberkörper.

Eine deutliche Anlehnung an die alten Keilschieber bezüglich der Verbindung mit der Spindel zeigt der doppelseitige Schieber Abb. 3. Der Schieberteller erweitert sich in der Mitte zu einer Hülse *a* für die Spindel *b*; zwei Bunde *c* und *d* packen den Schieberkörper, der sich mit Lappen an Leisten des Gehäuses führt. Den Gleitwiderstand der Dichtungsringe vermindert eine äußere Verbindung zwischen dem Eintritt- und dem Austrittsstutzen, mit der man vor Betätigung des Handrades die Anschlußleitung ausfüllen kann.

Dieser Schieber wird für Spannungen bis 20 at geliefert. Im Betrieb treffen aber, da die Spindel *b* den Körper hindert, sich um seine Achse zu drehen, stets fast dieselben Punkte der Dichtungsringe aufeinander, was bei Ablagerungen auf den Sitzflächen Undichtheit bewirken kann. Dieses Bedenken besteht nicht bei den Schiebern nach Abb. 4 und 5. Hier setzt sich der Abschlußkörper aus zwei runden Scheiben *a* und *b* zusammen, deren Form Verzerrungen infolge Erwärmung vorbeugt.

Beim Schieber nach Abb. 4 greift um den Hals der Schieberplatten ein Bügel *c*, in diesen ist die Spindel *d* eingeschraubt und versplintet, die mit zweigängigem Linksgewinde von der Handradnabe bewegt wird.

Beim Schieber nach Abb. 5 werden die Scheiben *a* und *b* durch einen Rotguß-Gewindestift *c* verbunden. Der den Hals umfassende Bügel *d* verlängert sich zu einer Hohlspindel *e*, welche durch die Stopfbüchse tritt und an ihrem oberen Ende eine Mutter für die drehbare und in der Brücke gelagerte Handradspindel trägt; bei geöffnetem Schieber taucht demnach die Handradspindel in die Hohlspindel. Eine zwischen den Säulen des Deckelaufsatzes geführte Brille verhütet das Ecken des Schiebers, der für Betriebsdrücke bis zu 25 at gebaut wird. Zwei Vorzüge zeichnen diese Schieber, Abb. 4 und 5, aus; sie haben keine Führungsleisten, vielmehr bleiben die Dichtungsringe noch in ihrer höchsten Stellung auf den Gehäuseringen, so daß kein Klemmen zu befürchten ist. Dann wird die untere Hubbegrenzung nicht durch Aufsetzen des Bügels oder der Platten bewirkt, die freie Ausdehnung der Spindel ohne Knickbeanspruchung ist hierdurch gesichert.

Bei beiden Schiebern lassen sich die Platten *a* und *b* nach Zerlegung des Körpers auf ihren Sitz aufschleifen; von 150 mm Durchmesser an wird ferner eine Umführung empfohlen, wofür an das Gehäuse passende Nocken angegossen sind.

Die Erfahrung jedes Betriebsleiters bestätigt, daß Hilfs- und Schutzeinrichtungen, die eine einzige überzählige Handbewegung erfordern, aus Unkenntnis oder Bequemlichkeit sehr oft nicht benutzt werden. Dieses Schicksal droht auch den Entlastungsventilen der Dampfschieber. Deshalb verlegt man bei dem Schieber mit selbsttätiger Entlastung nach Abb. 6 die Voröffnung in das Gehäuse und bringt ihre Betätigung in selbsttätige Abhängigkeit von der Spindel.

Die Mitten der Schieberplatten *a* und *b* sind durchbohrt und mit Dichtungsringen ausgerüstet, auf ihren Innenflächen stehen je vier Führungsrippen *c*, zwischen denen das Hilfsventil *d* gleiten kann. Der Dampfdruck preßt das Ventil mit dem ganzen Schieberkörper entweder nach rechts oder nach links (Absperrung). Ferner trägt die Unterseite des Bügels *e* einen kräftigen Stößer *f* mit doppeltschräger Spitze und das Ventil eine entsprechende Aussparung. Wenn mit der Handradspindel die Hohlspindel *g* und der Bügel *e* aus der gezeichneten Stellung emporgezogen werden, hebt der Stift *f* das Voröffnungsventil *d* von seinem Sitz, und der Dampf strömt in die Anschlußleitung. Sobald der Heizer am Schwinden des Drehwiderstandes den Spannungsausgleich merkt, darf er den Schieber ganz öffnen.

Auf den ersten Blick scheint dieser Schieber an einer gewissen Vielseitigkeit, daher auch Empfindlichkeit und Unsicherheit zu leiden; man soll jedoch nicht übersehen, daß die zwangläufige Voröffnung nur zwei einfache Teile erfordert, von denen

[1]) H. Dubbel, Taschenbuch für den Fabrikbetrieb, Jul. Springer, Berlin 1923.

das Ventil d in einer geschlossenen Kammer untergebracht ist und der Stößer f am Bügel e so gesichert werden kann, daß er sich nicht zu lockern vermag. Der Hals der Schieberteller a und b hat mehrere Löcher für den Stößer, damit man den Schieberkörper von Zeit zu Zeit drehen und einen gleichmäßigen Verschleiß der Dichtungsringe erzielen kann. In den Herstellungskosten übersteigt dieser Schieber kaum irgendeinen anderen Parallelschieber, da man bei ihm die äußere Umleitung und eine besondere Bedienungsvorrichtung spart.

Wohl gelingt es, durch verständige Bedienung des Voröffnungsventiles die Reibung auf den Sitzringen beim Öffnen des Schiebers zu beschränken, beim Abschluß hingegen verschwindet diese Reibung nur, falls der Schieber eine ruhende Dampfsäule durchschneidet; bei fließendem Dampf tritt er beim Niederschrauben in den Bereich der Strömung, die einen von der Dampfgeschwindigkeit und der Größe der getroffenen Fläche abhängigen Druck ausübt. Gegen Ende des Abschließens, wo der Durchfluß abgedrosselt ist, kommt mehr der einseitige Überdruck zur Geltung.

Die Abnutzung der Dichtungsringe hängt, wenn man die Reibungsziffer der gleitenden Körper und die Dichte des Dampfes außer Betracht läßt, von den Wegen, welche die Flächenelemente zurücklegen, und von der Pressung in den Berührungsflächen ab. Werden zwei Ringe I und II mit den Mittelpunkten m_1 und m_2, Innendurchmessern d_1 und Breite b aus einem Abstand $a = d_1 + 2\,b$ bis zur Deckung übereinander geschoben, Abb. 7, so legt Punkt P_1 am unteren Außenrande des bewegten Ringes I den längsten Weg auf dem ruhenden Ring II zurück, nämlich die Strecke p_1; ein anderer Außenpunkt P_3, der nach P_4 gelangt, hat den Reibungsweg p_3. Für die inneren Punkte Q_3 und R_3 wird der Reibungsweg halb so groß, wie jener der zugehörigen Punkte P des unteren Umfanges, und alle Punkte S auf der Außenseite des oberen Halbkreises erreichen ihre Endlage, ohne daß sie auf dem unteren Ringe gleiten. Den Verlauf der Reibungswege zeigt die eingetragene p-Kurve.

Die Anlagefläche f, auf der sich die beiden Ringe während der Verschiebung von I berühren, werde (rechte Hälfte der Abb. 7) unter rechtem Winkel zu den jeweiligen Stellungen von m_1 aufgetragen; sie beginnt mit $f = 0$ und endet mit dem Wert

$$f = \frac{\pi}{4}\,d_2^2 - \frac{\pi}{4}\,d_1^2,$$

der hier Eins gesetzt ist. Nach kurzem Anstieg und einem niedrigen Spitzenwert läuft die f-Kurve unter schlanker Einbauchung längs der Mittellinie $m_1\,m_2$, um erst bei $0{,}8\,a$ eine merkliche und von $0{,}9\,a$ an eine steilere Steigung anzunehmen. Diese Untersuchung ergibt:

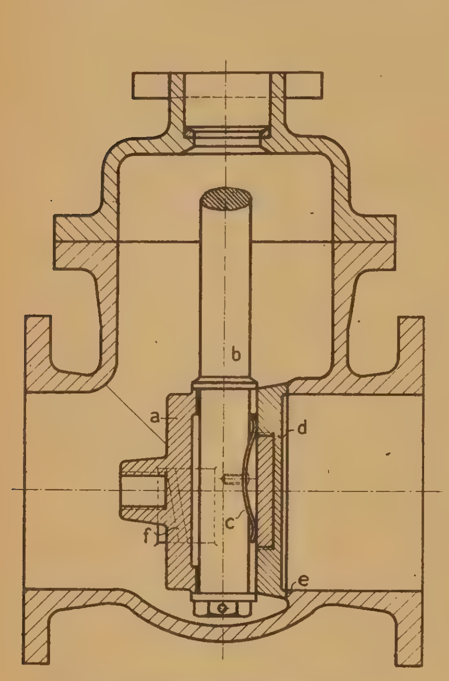


Abb. 1. Universalschieber nach Missong.

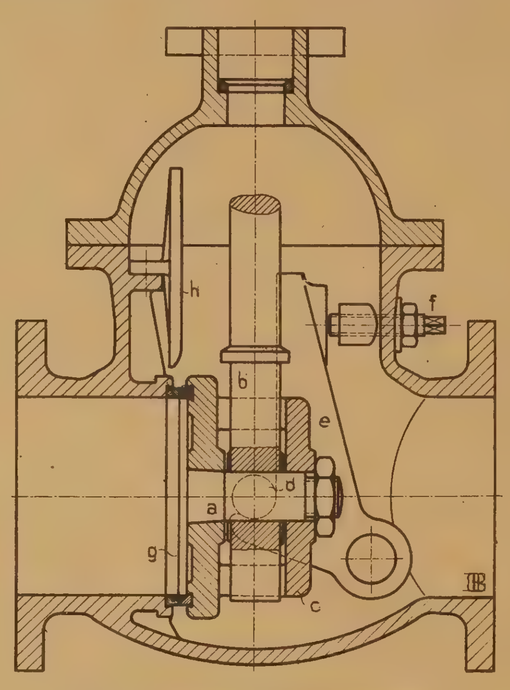


Abb. 2. Einseitiger Hochdruckschieber.

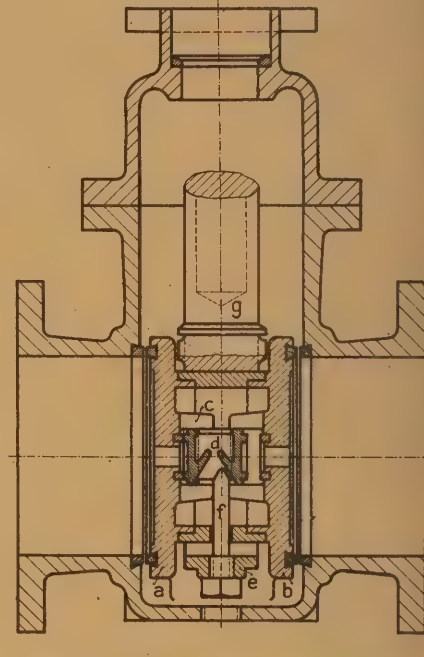
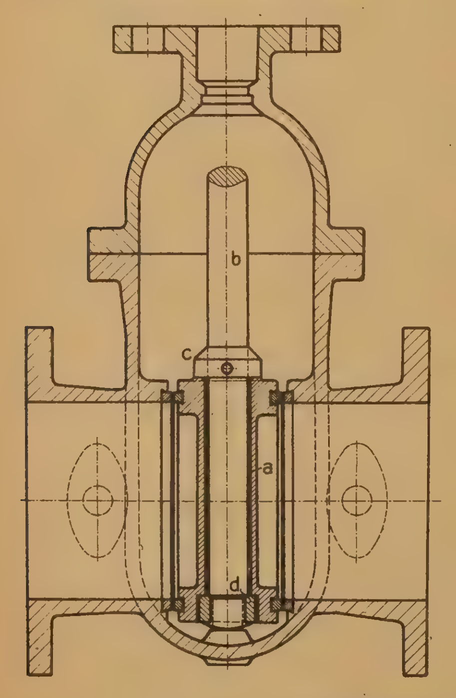
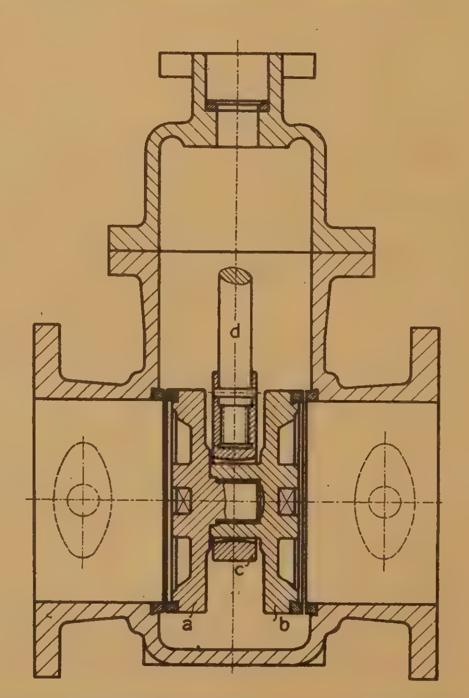


Abb. 6. Schieber mit selbsttätiger Entlastung.





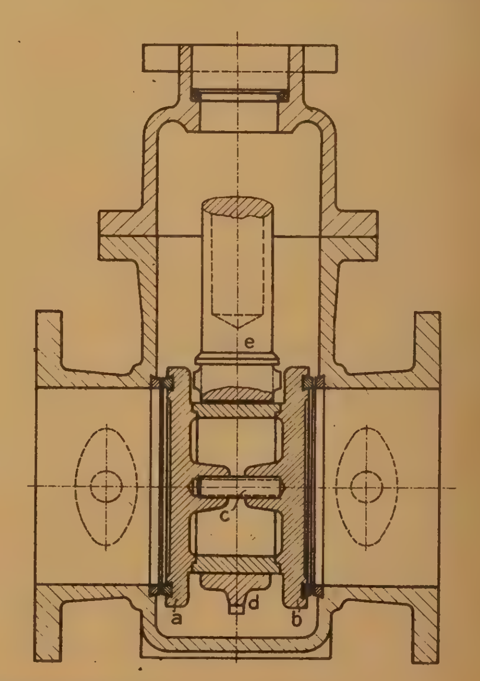


Abb. 3 bis 5. Doppelseitige Parallelschieber mit ein- und zweiteiligem Schieberkörper.

1) Die einzelnen Punkte der Dichtungsringe legen Wege von sehr verschiedener Länge auf dem Gegenring zurück; deshalb ist es für den Betrieb von Wert, nur Dampfschieber zu verwenden, deren Platten sich entweder frei drehen oder mindestens von Zeit zu Zeit umgestellt werden können;
2) von der ganzen Anlagefläche der Ringe bei geschlossenem Schieber stützen während der Bewegung nur sehr geringe Teile, weshalb man die Berührung der Ringe erst gestatten soll, nachdem sie ihre Schlußstellung fast erreicht haben.

Mit welchen Mitteln diese Forderung verwirklicht worden ist, zeigen die nächsten Beispiele.

Der Körper des Schiebers nach Abb. 8 besteht aus zwei runden Platten *a* und *b* mit einer dünneren Nabe mit dem Querbolzen *c*; der Bügel d wird in üblicher Weise vom Hammerkopf der Spindel *e* gefaßt und umgibt den Hals des Schieberkörpers mit reichlichem Spiel in senkrechter Richtung. Die Enden des Bolzens *c* werden von löffelförmigen Aussparungen *f* des Bügels *d* aufgenommen, deren größte Breite bei geschlossenem Schieber in Höhe der Rohrachse liegt; in dieser Lage kann der Druck des Dampfes den dichten Abschluß bewirken. Wenn man den Bügel *d* emporzieht, so holt der schmale Teil der Schlitze *f* den Bolzen *c* und hierdurch den ganzen Körper in die Mittelstellung zurück, und der Schieber öffnet sich, ohne daß die Dichtungsringe von *a* und *b* auf den Gegenringen des Gehäuses gleiten. Die Annahme, daß sich beim Schließen des Schiebers dieser Vorgang genau umkehrt, ist aber ein Irrtum, denn sie setzt voraus, daß die Schieberplatten durch ihr Eigengewicht den Bolzen *c* im tiefsten Punkte der Aussparungen *f* halten. Da der Körper um den Zapfen *c* pendeln kann, drückt ihn die Dampfströmung beim Senken mit der Unterkante auf den Sitzring, die Reibung hemmt ihn und der Bügel *d* eilt voraus — so gelangen die Zapfenenden in die Schlitzerweiterung, die dem Schieber bereits während der Bewegung gestatten, sich auf die Dichtungsringe aufzulegen. Dieselbe Vernachlässigung des Dampfstoßes findet man noch bei andern Bauarten.

Selbst wenn dieser Schieber in der von seinem Erfinder gedachten Weise arbeitete, würde er sich für viele Fälle nicht eignen, weil bei ihm die aufrechte Lage der Spindel Bedingung ist. Kein größerer Betrieb kann für stehende, liegende und hängende Spindel verschiedene Schieberarten auf Vorrat halten, man muß vielmehr verlangen, daß sich dieselbe Ausführung in wagerechter oder senkrechter oder schräger Stellung einbauen läßt.

Bei dem in Abb. 9 wiedergegebenen Schieber besteht der Körper aus einer flachen Trommel *a* mit einem Bügel *b*, in den die Mutter *c* für die Spindel *d* eingesteckt wird. Zu beiden Seiten des Schieberkörpers sind kurze Führungsrollen *e* auf angegossenen Zapfen *f* angeordnet; die dazu passenden Leisten *g* des Gehäuses verhüten, daß der Schieber auf den Gehäuse-Dichtungsringen *h* schleift, die Erweiterung an ihrem unteren Ende erlaubt indes dem von links oder rechts eintretenden Dampf, die Ringe anzudrücken und den Abschluß zu erzeugen. Diese Bauart hat den Mangel, daß der Schieberkörper nicht drehbar ist und daß die Mutter *c* im Dampf liegt. Jede Schmierung versagt hier, weil sich selbst Zylinderöl im Heißdampf bald verflüchtigt; die trockene Reibung des Gewindes würde die Handhabung erschweren. Auch die Rollen *e* auf den Zapfen *f* werden von diesem Nachteil betroffen, sie sind aber für die Herstellung dadurch von Wert, daß man Ungenauigkeiten im Abstand der Leisten *g* durch Wahl kleinerer oder größerer Rollen ausgleichen kann; den Widerstand der gebräuchlichen starren Lappen können sie nie übersteigen.

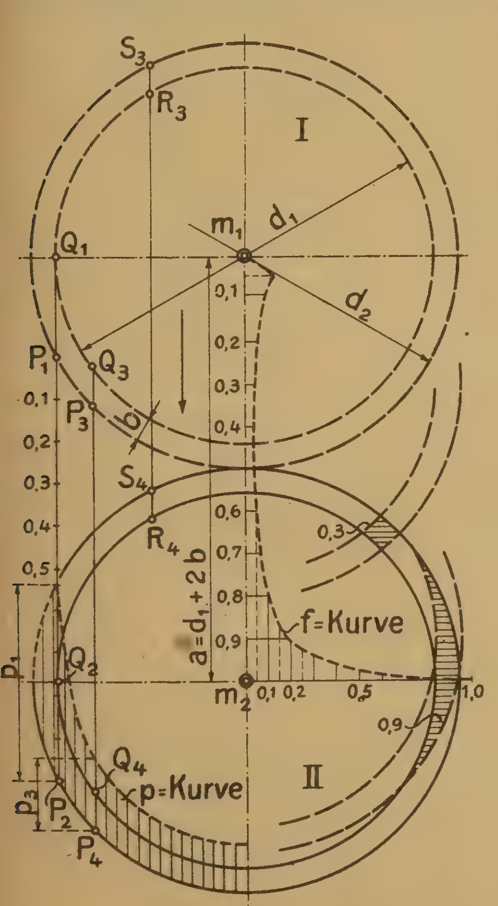


Abb. 7. Verschiebung der Dichtungsringe aufeinander.

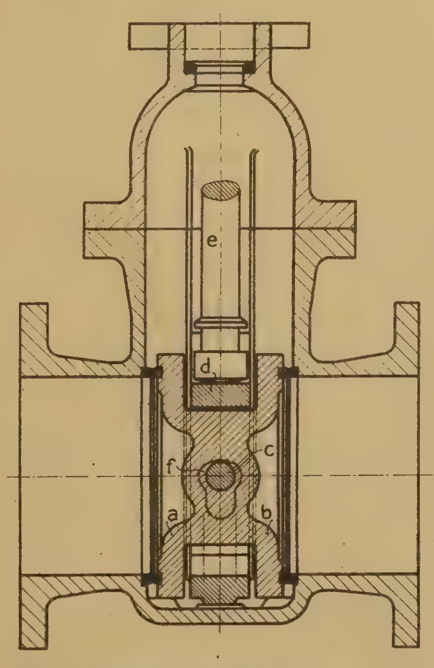


Abb. 8. Parallelschieber mit frei drehbarem Schieberkörper.

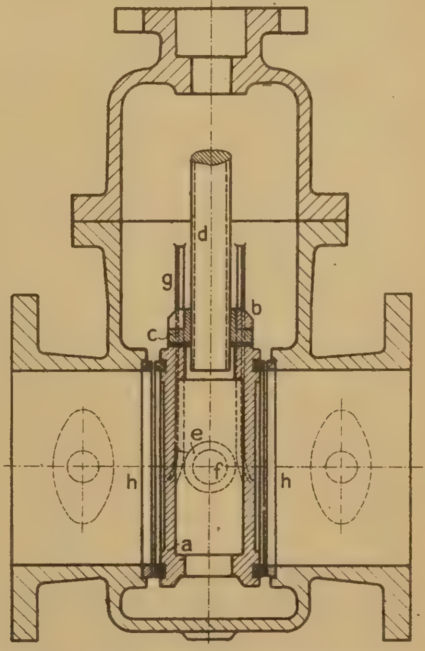


Abb. 9. Parallelschieber mit trommelförmigem Schieberkörper.

Parallelschieber mit Spreizwirkung.

Die Parallelschieber, die durch einseitigen Überdruck angepreßt werden, haben sich, wie schon erwähnt, in Rohrleitungen, durch die der Dampf nur in einer Richtung fließt, bewährt. In großen Anlagen mit mehreren Kessel- und Maschinensätzen und mit Hilfseinrichtungen, wie Kondensation, Pumpen, Kompressoren und dergl., braucht man aber Ringleitungen mit vielen Abzweigungen, und dabei läßt sich ein Wechsel des Durchflusses in einzelnen Rohrsträngen und Absperrschiebern nicht vermeiden; das Spiel des Schiebers zwischen den beiderseitigen Sitzen ist dann eine unerwünschte Beigabe. Die Armaturentechnik hat deshalb Parallelschieber mit Spreizwirkung ausgebildet, deren Platten durch Federn, Keile, Schrauben, Hebel oder Kugeln auf die Gegenringe gedrückt werden. Zum Teil beabsichtigt man damit, durch den doppelten Abschluß eine bessere und sichrere Dichtung zu erreichen, die Stopfbüchse auch bei geschlossenem Schieber verpacken und mittels eines Hahnes am Gehäusemittelstück die Dichtheit prüfen zu können.

Der Schieber mit Spreizfeder, Abb. 10, ähnelt durchaus dem Schieber in Abb. 5, nur daß seine Platten *a* und *b* nicht verschraubt, sondern mit den Hälsen ineinander gesteckt sind und durch eine Feder *c* auseinander getrieben werden. Bügel *d* mit Führungslappen und Hohlspindel *e* bedürfen keiner Erläuterung. Diese Bauart hat sich nicht behauptet, weil im Heißdampf die Spannkraft der Feder *c* bald schwindet und auch die Schieberhälse festbrennen können.

Der nur für 10 at bestimmte Schieber mit Spreizkeil, Abb. 11, enthält zwischen den Tellern *a* und *b*, deren Rückseiten neben der Mitte je zwei schräge Flächen *c* und *d* haben, zwei Doppelkeile *e* mit Stielen *f*. Ein Hammerkopf *g* hebt und senkt den aus vier Teilen zusammengesetzten Körper bei Drehung der Handradspindel *h*, deren Gewinde im Dampf liegt. Wenn am Ende des Hubes die Stiele *f* auf Nocken *i* des Gehäuses stoßen, zwingen die Keile *e* die Platten *a* und *b* auf ihren Sitz. Die Wärmeausdehnung der Spindel kann auch hier bedenkliche Überlastungen hervorrufen. Unter der Voraussetzung, daß die Beweglichkeit der Keile *e* auf den Schrägen *c* und *d* nach längerem Stillstand nicht durch Festbrennen leidet, hat dieser Schieber außer seiner Vielteiligkeit keinen Mangel.

Die Platten *a* und *b* des Schiebers mit Spreizgewinde, Abb. 12 und 13, haben Muttergewinde *c* und ein dazu passendes Bolzengewinde *d*, bei Verdrehung der Platten ändert sich demnach der Abstand ihrer Dichtflächen *e* und *f*. Zwei Nasen *g* der Platten greifen in die Schenkel i_1 und i_2 des zwischen Leisten *k* des Gehäuses geführten Bügels *i*, den die

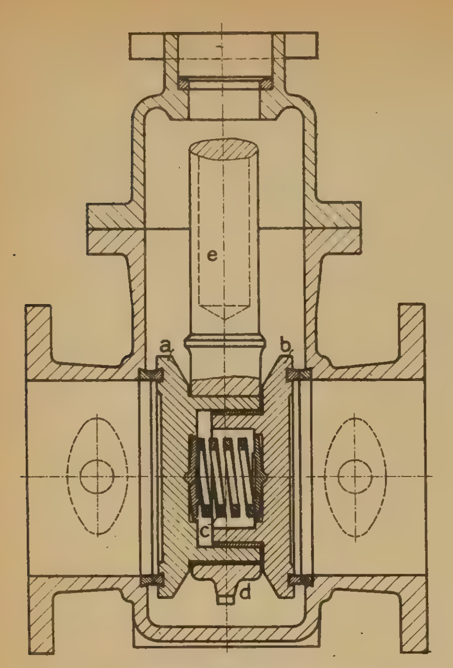


Abb. 10. Parallelschieber mit Spreizfeder.

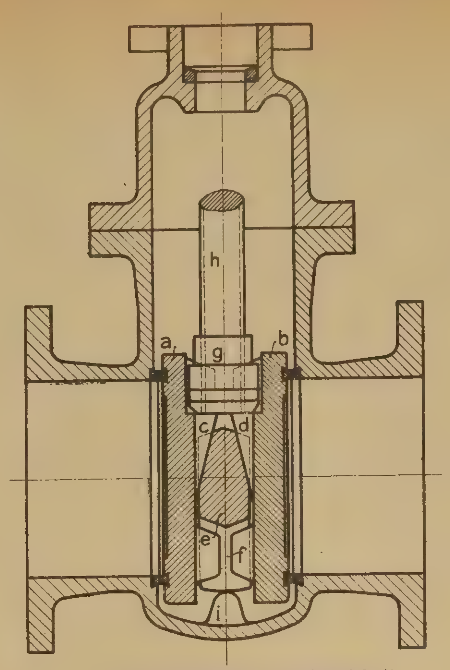


Abb. 11. Parallelschieber mit Spreizkeil.

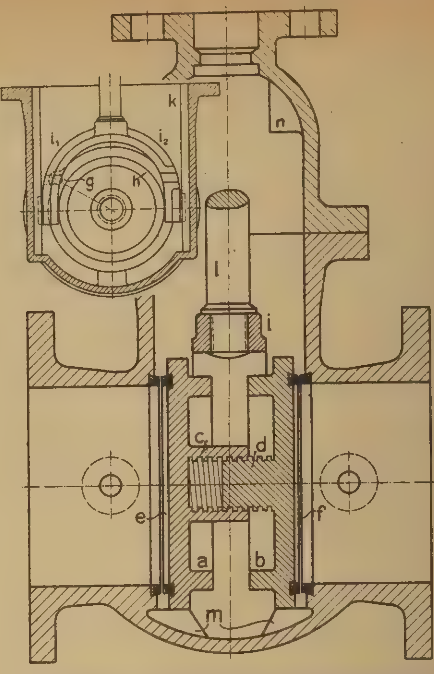


Abb. 12 und 13. Parallelschieber mit Spreizgewinde.

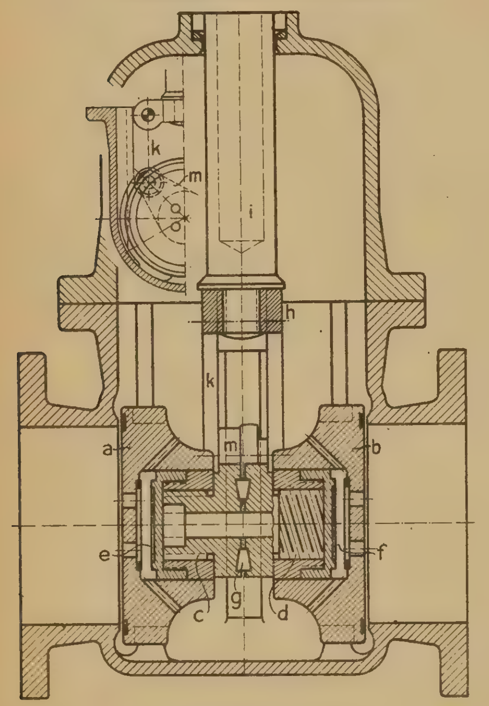


Abb. 14 und 15. Fischbach-Schieber mit Spreizgewinde.

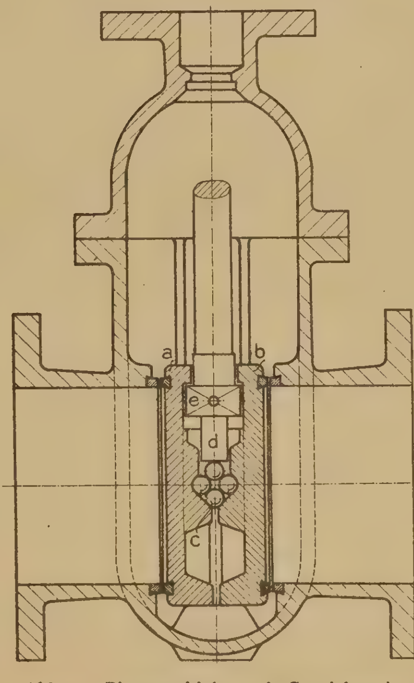


Abb. 16. Plattenschieber mit Spreizkugeln.

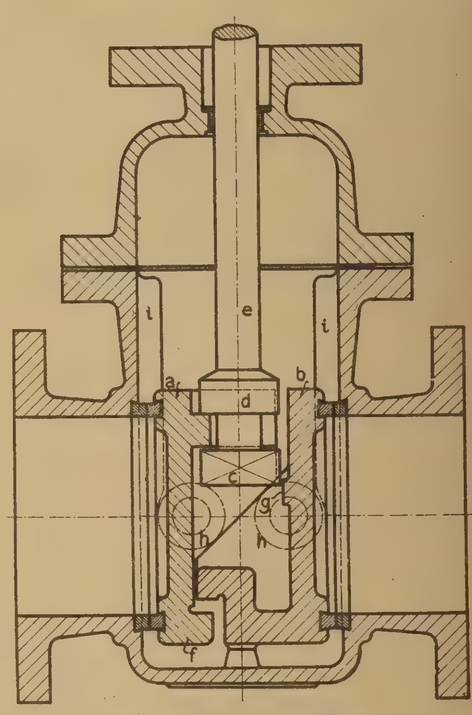


Abb. 17. Zweiplattenschieber.

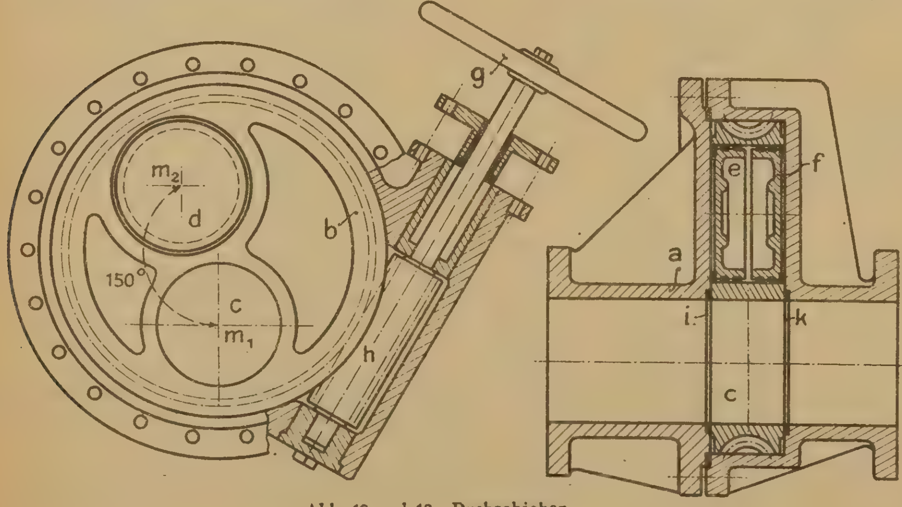


Abb. 18 und 19. Drehschieber.

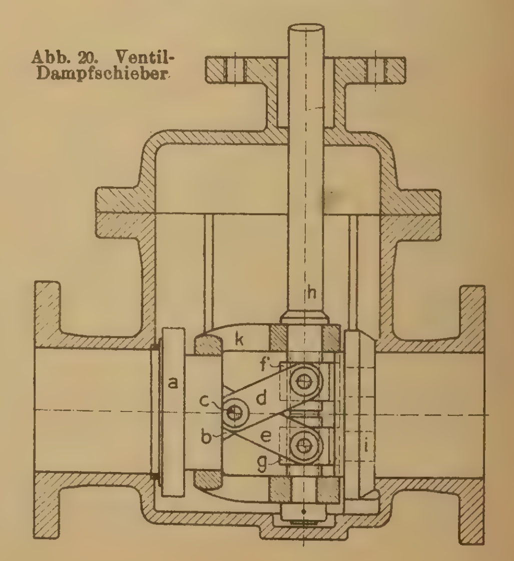


Abb. 20. Ventil-Dampfschieber.

Handradspiel l auf- oder abbewegt. Drückt man den Bügel nieder, während sich a und b auf feste Nocken m stützen, so spreizt sich die Schraube c bzw. d, weil infolge des Angriffes von i_1 an g und i_2 an h die Platten a und b in entgegengesetztem Sinn verdreht werden.

Das Getriebe erfüllt zwar den Zweck fast reibungsfreier Einführung des Schieberkörpers in seine Schlußlage und zwangläufiger Anpressung, doch schleifen die Dichtungsringe beim Öffnen auf den Sitzen. Damit sich nämlich die Schieberteller a und b nähern, müssen sie zunächst in ihrer tiefsten Stellung festgehalten werden; die Hubbewegung beginnt aber schon, sobald die Zugkraft des Bügels den Reibungswiderstand in den Berührungsflächen übersteigt, und nicht erst, nachdem sich ein Spielraum zwischen Ring und Sitz auf der belasteten Seite eingestellt hat. Wird nach dem Anlegen der Schieberplatten an den Deckelnocken n die Spindel l weitergedreht, bis ihr Kegelbund anstößt und abdichtet, dann holt die Schraube c, d die Teller auf ihr engstes Maß zusammen, mit dem sie beim Abschluß gesenkt werden. Nachteile dieses Schiebers sind die unsichere Lagerung im Bügel i und der schädliche Einfluß des Heißdampfes auf das innere Gewinde.

Der Fischbach-Schieber nach Abb. 14 und 15 weist unter allen bekannteren Schiebern die vielteiligste Bauart auf. Auch hier werden die Platten a und b gegen die Dichtungsringe des Gehäuses gepreßt, indem zwei viergängige Schrauben c und d zwei in den Körpern geführte Voröffnungsventile e und f entweder vorschieben oder zurückziehen; den axialen Druck soll ein Kegelrollenlager g abfangen. Von den Enden eines Querstückes h an der Handradspindel i gehen zwei Lenker k zu zwei auf den Schrauben c und d befestigten Kurbeln m. Zum Schutz gegen vorzeitiges Spreizen der Schrauben beim Senken des Querstückes werden die freien Enden der Lenker k im Gehäusehals zusammengehalten; sie können erst ausschlagen und die Kurbeln m drehen, nachdem die Mitten der Platten a und b in der Rohrachse angelangt sind.

In eigenartiger Weise entsteht der Dichtungsdruck bei dem Schieber mit Speizkugeln, Abb. 16. In zwei schmalen Taschen der Platten a und b sind Stahlkugeln c gelagert, die von der niedergeschraubten Spindel d axial auseinander getrieben werden. Die geöffneten Platten hängen am Bund e und neigen daher zum Klappern. Weder beim Öffnen noch beim Schließen wird die Reibung der Ringe vermieden. Die Behauptung, die Platten würden sofort bei der ersten Spindeldrehung abgehoben, gilt nur für die Seite des Dampfeintritts. Ferner ist zu befürchten, daß bei zufälligem Widerstand an den Führungsleisten oder auf den Dichtungsringen des Gehäuses die Kugeln c wegen ihrer leichten Beweglichkeit die Platten a und b bereits in halboffener Stellung spreizen und dadurch in kritischen Augenblicken der Schieber nicht geschlossen werden kann. Wenn die Ringe nach einer gewissen Betriebsdauer um einige Millimeter nachgedreht worden sind, stellen sich die Kugeln unter einem stumpferen Winkel ein, und die Anpressung wächst unter Umständen bis zur Kniehebelwirkung. Überhaupt erzeugt der Kugeldruck auf die Plattenmittelpunkte eine ungünstige Biegebeanspruchung, die durch Rippen oder eine größere Dicke der Teller aufgenommen werden muß.

Mit wie einfachen Mitteln man alle bisher erwähnten Mängel ohne Drangabe eines einzigen Vorzuges umgehen kann, beweist der Schieber in Abb. 17, der als Verdoppelung des Schiebers nach Abb. 1 betrachtet werden darf, weil er zwei mit ihren schrägen Rücken zusammengelegte Platten a und b hat, die demnach wie zwei Keile wirken. Zwei Bunde c und d der Spindel e bewegen den Teller a, der mittels eines Nockens f beim Öffnen den Teller b mitschleppt. An der Innenseite von b befindet sich eine schmale Leiste g; der vierkantige Bund c drückt auf diese Leiste beim Niederschrauben der Spindel e, solange die Rollen h auf den Leisten i des Gehäuses laufen. Erst am Ende des Hubes schnappt c von g ab, und die beiden Schieberplatten können sich spreizen.

Die Keile haben 45° Neigung, also keine übertriebene Umwandlung der senkrechten Spindel- in die wagerechte Anpreßkraft. Die Zapfen der Rollen h sind an den Keilplatten a und b angegossen; das Gehäuse sichert die Rollen gegen Abgleiten ohne Splinte, Unterlegscheiben, Muttern und dergl. Daß sich im Dampfraum kein Gewinde befindet, ist selbstverständlich. Die ringförmigen Berührungsflächen der Keilplatten werden bei jedem Öffnen und Schließen mit großer Kraft aufeinander verschoben, sie können demnach nicht festbrennen; die Größe der Fläche läßt keinen merkbaren Verschleiß entstehen.

Dampfschieber mit drehbarem Schieberkörper.

Während alle geschilderten Dampfschieber ihre Abstammung vom Wasserschieber dadurch bekunden, daß sich der Schieberkörper in einem sackähnlichen Gehäuse mittels einer zur Rohrachse senkrechten Spindel heben und senken läßt, ist bei dem Drehschieber nach Abb. 18 und 19 das Gehäuse eine flache Trommel a, in der sich ein Schneckenrad b mit zwei runden Durchbrechungen c und d drehen kann. Die eine Öffnung c bildet den Übergang vom Eintritt- zum Austrittstutzen, die andre Öffnung d nimmt einen aus zwei Kolben e und f zusammengesetzten Sperrkörper auf. Mit Hilfe des Handrades g und der Schnecke h läßt sich das Schneckenrad b um 150° drehen, zwei Anschläge stellen die Grenzlagen fest.

Es entsteht nun die natürliche Frage: Welche Vorteile werden durch diese grundsätzliche Abkehr von der üblichen Schieberbauart erzielt? Statt des geraden und kürzesten Weges von m_1 nach m_2 wandert der Mittelpunkt des Schieberkörpers auf einem Kreisbogen von 1,34facher Länge, berechnet auf den Teilkreis des Schneckenrades, an dem die Drehkraft angreift, verdoppelt sich der Umweg auf das 2,68fache. Selbst bei Wahl einer zweigängigen Schnecke h erfordert der Schieber mehr Zeit zum Öffnen und Schließen als Schieber mit geradlinigem Hub. Der große Durchmesser des Gehäuses (für eine 200 mm-Leitung hat der Flansch rd. 650 mm Durchmesser) verlangt eine große Schraubenzahl und erschwert bei höheren Dampfdrücken die Abdichtung. Die Verrippung der ebenen Stirnflächen verteuert die Modelle und die Herstellung. Kein äußeres Zeichen meldet dem Heizer, ob der Schieber geöffnet oder geschlossen ist. Zum Innern gelangt man nur nach Ausbau des ganzen Schiebers aus der Leitung; dabei kann man nicht, wie beim gewöhnlichen Schieber, die Deckelteile und das Gehäuse für sich entfernen, sondern muß den schweren Schieber in einem Stück absenken und einheben. Die im Dampfraum gelagerte Schnecke h verspricht bei Heißdampf keine lange Lebensdauer. Die ungleiche Abnutzung der Dichtungsringe infolge ungleicher Länge der Reibungswege gleicht sich zwar durch die freie Drehbarkeit der Kolben e und f in der Durchbrechung d des Schneckenrades b aus, der ungleiche Verschleiß der in das Gehäuse a eingestemmten Sitzringe i und k bleibt jedoch. Der einzige Vorteil des Schiebers ist die Überbrückung des Abstandes zwischen i und k durch den Stutzen c, welche die Sitzflächen vor Abspülung durch den Dampf schützt; dieselbe Maßnahme findet man bei Groß-Wasserschiebern; für Dampfschieber hat man sie bisher nur beim Hopkinson-Ferranti-Schieber angewandt.

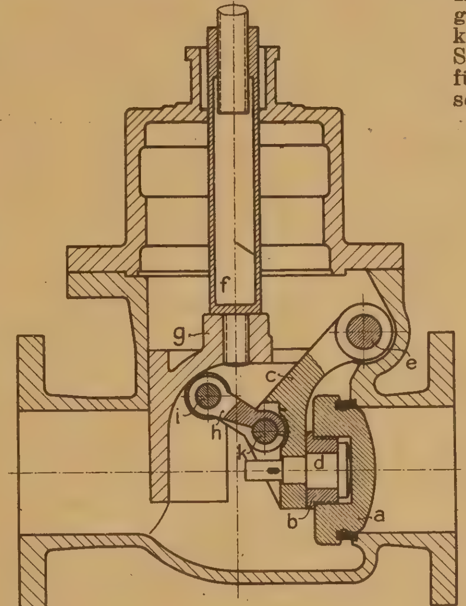


Abb. 21. Klappenschieber.

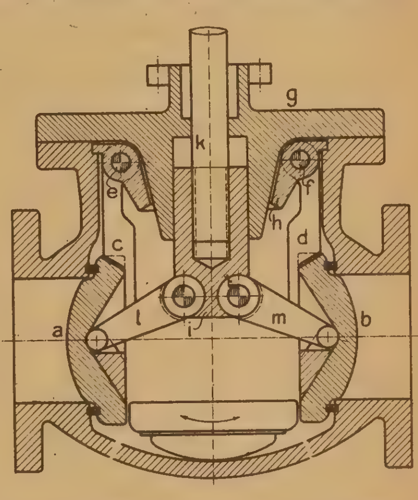


Abb. 22. Doppelventil mit Hebelandrückung.

Die Drosselung des Dampfes in Absperrventilen üblicher Bauart rührt, wie bekannt, von seiner Richtungsänderung durch die wagerechte Ventilsitzebene her; dieser grundsätzliche Fehler läßt sich durch Beseitigung der Gehäusescheidewand vermeiden. Deshalb ordnen einige Armaturenfabriken den Ventilkegel in einem Gehäuse ohne Tennwand, wie bei Schiebern, an; der Sitz liegt in einer zur Rohrachse senkrechten Ebene; von ihm wird der Kegel abgehoben und darauf durch Verschiebung, Schwenkung oder Drehung aus der Dampfströmung gebracht. Die Kraft zum Anpressen leitet man in mehr oder minder umständlicher Weise mit Hebeln von der Handradspindel ab.

Die als Ventil-Dampfschieber (schon der Name enthält einen Widerspruch) bezeichnete Bauart, Abb. 20, hat einen Teller a, dessen Rückseite ein Auge b für den Bolzen c trägt. Hieran greifen die Laschenpaare d und e an, in deren rückwärtigen Enden sich zwei Muttern f und g drehen; diese laufen mit Rechts- und Linksgewinde auf der Handradspindel h und stützen sich auf einen Gegenteller i. Die Führung der Spindel des Tellers und Gegentellers besorgt ein Halter k. Bei Linksdrehung der Handradspindel strecken sich zunächst die Lenker d und e, bis die Muttern f und g an den Halter k anstoßen; hierbei wird der Dampf in das Gehäuse eingelassen, von wo er durch Bohrungen des Tellers i in die An-

schlußleitung gelangt. Die Spindel *h* steigt nunmehr und zieht den Halter *k* nebst allen mit ihm verbundenen Teilen empor. Den selbsttätigen Übergang von Drehung auf Hebung bewirkt ein über der Stopfbüchse auf die Spindel gekeilter Anschlaghebel.

Neben unzweckmäßiger Vielteiligkeit (im Dampfraum befinden sich drei Bolzengelenke und zwei Bewegungsgewinde) hat diese Vorrichtung den Nachteil, daß bei Erwärmung der Spindel die Anpressung des Tellers und die Beanspruchung der Hebel sehr bedenklich steigt, und daß der Dampf nur in einer Richtung fließen darf.

Der Klappenschieber, Abb. 21, ist seinem ganzen Wesen nach eine Klappe mit Kniehebel-Zwangsanpressung. Sein Teller *a* wird durch den Überwurf *b* auf dem im Lenker *c* drehbaren Bolzen *d* gehalten; der Lenker schwingt um den Zapfen *e*, der eine Erweiterung des Gehäusehalses durchquert. Das untere Ende der Hohlspindel *f* ist in einen Führungsschuh *g* geschraubt, den eine Druckstelze *h* mittels der Bolzen *i* und *k* mit der Klappe *c* kuppelt. Die anfangs nur langsame Eröffnung des Kegels *a* und seine ungehinderte Drehbarkeit auf dem Bolzen *d* sind zwei Vorzüge; der Betriebsmann wird auch die Möglichkeit schätzen, nach Lösung des Bolzens *k* das in die Leitung eingebaute Ventil nachschleifen zu können, auch wenn er bei gröberen Verletzungen die Dichtungsringe nachdrehen muß. Die Mängel der Klappventile sind auch hier vorhanden.

Ein Doppelventil mit Hebelandrückung zeigt Abb. 22. Seine Teller *a* und *b* hängen an Pendeln *c* und *d*, deren Gelenke *e* und *f* in einem unter dem Gehäusedeckel *g* um 90° drehbaren Halter *h* ruhen. Vom aufgeschraubten Kopf *i* gehen zwei Arme *l* und *m* zu den Ventilen *a* und *b*. Das Ventil wird geöffnet, indem man die Handradspindel *k* hochschraubt und durch *l* und *m* die Teller *a* und *b* von ihren Sitzen zieht. Hiernach wird die Spindel nebst dem Kopf *i* um 90° gedreht, die Ventile treten in die seitliche Ausbauchung des Gehäuses und lassen zwischen sich, wie der untere Teil der Abbildung andeutet, einen freien Durchgang für den Dampf; um Klappern zu verhüten, wählt man die Abmessungen so, daß die Ventilteller die Gehäusewand unter leichtem Druck berühren.

Abgesehen von einer bedenklichen Vielteiligkeit ist der Halter *h* von fragwürdigem Wert. In großen Kraftwerken werden Ventile und Schieber bisweilen mehrere Monate lang nicht bedient; während dieser Zeit sammeln sich auf den Gleitflächen des Halters *h* unter dem Deckel *g* Abscheidungen, und ob dann noch die Drehkraft auf dem Umwege *k-i-l-a-c-h* und *k-i-m-b-d-h* ohne Zwängung und Bruch eines der vielen Bolzen übertragen wird, muß bezweifelt werden.

Bei kritischer Betrachtung der drei letzten Bauarten kann man sich der Überzeugung nicht verschließen, daß die Versuche, ein Absperrventil mit geradem Durchgang zu gewinnen, trotz der Verschiedenheit der angewandten Mittel keinen Erfolg gebracht haben. Das Ziel dieser Bestrebungen, dem Ventil unter Wahrung seiner Eigenart, nämlich der zum Sitze senkrechten Bewegung im letzten Augenblick des Abschlusses, den Hauptvorzug des Schiebers, den widerstandsfreien Durchgang, hinzuzufügen, ist nicht erreicht worden. Im Gegensatz hierzu ist es mit einfachen Mitteln gelungen, den Schieber von seinem wesentlichsten Nachteil zu befreien, so daß er nicht während des ganzen Hubes auf den Sitzringen gleitet, sondern sie erst kurz vor dem Abschluß berührt. [A 2015]

Differenzieren und Integrieren im praktischen Schiffbau.

Die Berechnung der Schiffslinien wird dem angehenden Schiffbauer gewöhnlich an der Hand der Integralrechnung erläutert, indem die einzelnen Rechnungen auf die Bestimmung von Flächengrößen, also auf ein Integrieren zurückgeführt werden. Die Integration selbst wird schließlich mit Hilfe eines der bekannten Annäherungsverfahren durchgeführt.

Das Differenzieren oder die Bestimmung der Steigung einer Kurve tritt in den Rechnungen, die zum Entwurf eines Schiffes gehören, heute weniger klar hervor. Trotzdem kann man auch mit Hilfe dieses Rechenvorganges viele Aufgaben, die beim Entwurf eines Schiffes vorkommen, erläutern und ihre Lösung erleichtern. Dabei ist es vorteilhaft, sich die Differentiale nicht unnütz klein vorzustellen, sondern nur so klein, daß ein Fehler die Rechnung nicht beeinträchtigt. Im folgenden soll die Betrachtungsweise im Sinne der Differentialrechnung an einigen Beispielen erläutert werden. Fragt man nach der Tiefgangsänderung $\mathrm{d}\,T$, die ein Schiff von der Verdrängung D erleidet, wenn ein Gewicht $\mathrm{d}\,D$ an Bord kommt, so ist

$$\mathrm{d}\,D = f\,\mathrm{d}\,T \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1).$$

Der Schiffbauer rechnet bei kleinen Tauchänderungen immer mit dieser Differentialgleichung, die man nebenbei bemerkt auch in der Form

$$\mathrm{d}\,D = \frac{D}{\chi\,T}\,\mathrm{d}\,T \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2)$$

schreiben kann. Hierbei bedeutet f den Flächeninhalt beim Tiefgang T und χ das Verhältnis aus dem Völligkeitsgrad δ der Verdrängung und dem Völligkeitsgrad α der Wasserlinienfläche.

Die Gl. (2) hat verschiedene Vorzüge vor (1): D und T sind häufiger bekannt als f, und $\chi = \frac{\delta}{\alpha}$ ändert sich im allgemeinen nur wenig mit dem Tiefgang, viel weniger als δ und α. Ferner kann man Gl. (2) umformen in

$$\frac{\mathrm{d}\,D}{D} = \frac{1}{\chi}\,\frac{\mathrm{d}\,T}{T} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2a).$$

Demnach ist für $\chi =$ konst.:

$$\frac{D}{D_{CWL}} = \left(\frac{T}{T_{CWL}}\right)^{\frac{1}{\chi}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3).$$

Das heißt, die Verdrängung verläuft nach einer allgemeinen Parabel m-ten Grades für $\chi =$ konstant. Der Schwerpunktabstand $\overline{OF}$ des Verdrängungsschwerpunktes F von Oberkante Kiel ergibt sich hiernach zu

$$\overline{OF} = \frac{T}{1+\chi} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (4).$$

Denkt man sich die Wasserlinienflächen eines vorliegenden Schiffes in Rechtecke von der gleichbleibenden Breite B umgewandelt, und gilt Gl. (3) für das vorliegende Schiff, so verläuft bei symmetrischer Anordnung der Rechtecke zur Schiffsmitte der Kiel vorn und hinten nach einer Parabel m-ten Grades, und es gilt für den Krümmungshalbmesser $\overline{MF}$ des Verdrängungsschwerpunktweges in der Anfangslage

$$\overline{MF} = \frac{\overline{MF}_{CWL}\,T_{CWL}}{T} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (5).$$

An der Hand dieser Gleichungen können wir die Frage nach dem Einfluß einer Gewichtänderung auf die metazenrische Höhe $\overline{MG}$ beantworten, er ist

$$\mathrm{d}\,\overline{MG} = \mathrm{d}\,\overline{OF} + \mathrm{d}\,\overline{MF} - \mathrm{d}\,\overline{OG}$$

$$= \frac{\mathrm{d}\,T}{1+\chi} - \frac{\overline{MF}_{CWL}\,T_{CWL}\,\mathrm{d}\,T}{T^2} - \frac{\mathrm{d}\,D\,a}{D+\mathrm{d}\,D}.$$

Ist $\mathrm{d}\,D$ genügend klein gegen D, so kann man hierfür mit Gl. (2)

$$\mathrm{d}\,\overline{MG} = \frac{\mathrm{d}\,T}{1+\chi} - \frac{\overline{MF}_{CWL}\,T_{CWL}\,\mathrm{d}\,T}{T^2} - \frac{\mathrm{d}\,T\,a}{\chi\,T} \quad \ldots \ldots (6)$$

schreiben; hierin ist a der Abstand des der Verdrängungsänderung $\mathrm{d}\,D$ entsprechenden Gewichtes vom Systemschwerpunkt G.

Mit Hilfe von Gl. (6) können wir sofort sagen, um wieviel sich die metazentrische Höhe $\overline{MG}$ bei einem Schnelldampfer von 30 000 t Wasserverdrängung bei $T = 10$ m, $\overline{MF}_{CWL} = 4{,}37$ m, $\overline{OG} = 9{,}37$ und $\chi = 0{,}85$ ändert, wenn 1000 Menschen zu je 75 kg Gewicht mit einem Schwerpunktabstand $a = 5$ m über G an Bord kommen. Nach Gl. (2) ist

$$\mathrm{d}\,T = \frac{75}{30\,000} \cdot 0{,}85 \cdot 10 = 0{,}0212 \text{ m und}$$

$$\mathrm{d}\,\overline{MG} = \frac{0{,}0212}{1{,}85} - \frac{4{,}37 \cdot 10 \cdot 0{,}0212}{10^2} - \frac{0{,}0212 \cdot 5}{0{,}85 \cdot 10} \sim -1 \text{ cm}.$$

Mit Hilfe der Gleichungen (3), (4) und (5) können wir noch eine Reihe andrer Aufgaben lösen, so z. B. wenn nach zusammengehörigen Werten α, δ, B, T und $\overline{MO}$ ($\overline{MO}$ = Abstand von M über Oberkante Kiel) gefragt ist. Hierbei kommt uns der Umstand zustatten, daß die $\overline{MO}$-Kurve, aufgetragen über dem Tiefgang, im allgemeinen einen Kleinstwert $\overline{MO}_{\min}$ hat, der bei Handelsschiffen nicht allzufern vom Konstruktions-Tiefgang liegt. Differenzieren wir die Gleichung

$$\overline{MO} = \frac{T}{1+\chi} + \frac{\overline{MF}_{CWL}\,T_{CWL}}{T},$$

so finden wir, daß die $\overline{MO}$-Kurve an der Stelle, wo $\overline{MO}_{\min}$ liegt, durch $\overline{OF}$ und $\overline{MF}$ in zwei gleiche Teile geteilt wird, daß also

$$\overline{MO}_{\min} = 2\,\overline{OF} = 2\,\overline{MF}$$

ist. Haben wir nun eine Annäherungsgleichung für $\overline{MF}$, etwa

$$\overline{MF} = (1+\varepsilon)\,\frac{\alpha^2}{\delta}\,\frac{B^2}{12\,T}$$

zur Hand, in der kleine Abweichungen durch die Berichtigung $(1+\varepsilon)$ berücksichtigt sind, so sind uns mit der Gleichung

$$\overline{MO}_{\min} = (1+\varepsilon)\,2\,\frac{\alpha^2}{\delta}\,\frac{B^2}{12\,T}$$

zusammengehörige Werte gegeben, die wir nach eingehender Prüfung den Schiffslinien zugrunde legen können.

Gewöhnt man sich, im Hinblick auf die Differentialrechnung immer nach dem Einfluß von Änderungen zu fragen, so wird man bald auf eine große Anzahl von Aufgaben beim Schiffsentwurf stoßen, die sich in dieser Weise behandeln lassen. Man wird ferner finden, daß diese Betrachtungsweise den Schluß von bekannten auf unbekannte Werte in vielen Fällen erleichtert und ermöglicht. So kann man z. B. den Abstand $\overline{OG}$ des Systemschwerpunktes G von Oberkante Kiel dadurch in sehr einfacher Weise ermitteln, daß man zunächst die angenäherte Lage bestimmt, indem man zunächst nur den Systemschwerpunkt G_1 der folgenden Gewichte ermittelt: Außenhaut, Decks, Doppelboden, Maschine. Die Änderung $\overline{GG}_1$, die uns die gesuchte Strecke $\overline{OG}$ angibt, wenn wir $\overline{GG}_1$ zu $\overline{OG}_1$ zuzählen, gewinnen wir aus der Betrachtung der Verschiebungen von G durch die noch nicht berücksichtigten Gewichte. Wir werden bei dieser Betrachtung bald entdecken, daß wir eine große Anzahl von Gewichten vernachlässigen können, ähnlich wie man bei der Berechnung von Zahlenwerten von mathematischen Reihen belanglose Glieder höheren Grades unterdrücken kann. [M 40] Dr. W. Schmidt.

Beitrag zur Theorie der Ausnützung von Naturkräften.

Von Dipl.-Ing. Robert I. Nowotny, Chemnitz i. Sa.

Einfluß der Betriebszeit und des Stillstandes einer Kraftanlage auf die Ausnutzung der in einer Naturkraft enthaltenen Energie. Verbesserung der Energieausnützung und Steigerung der Nutzleistung durch Energiespeicherung. Untersuchung des finanziellen Erfolges und der auf die Einheit der abgegebenen Nutzenergie bezogenen Erzeugungskosten bei Betrieb ohne oder mit Energiespeicherung.

Zeichenerklärung:

T_0 = Spieldauer in Stunden,
t_1 = Betriebsdauer in Stunden,
$t_0 = \frac{T_0}{n}$ Dauer einer Betriebsperiode in Stunden,
$\tau = \frac{t_1}{t_0}$ relative Betriebsdauer,
L_0 bzw. L_0' = Bruttoleistung einer Naturkraft in Kilowatt,
L_{0m} = mittlere Bruttoleistung in Kilowatt, bezogen auf T_0,
L_1 bzw. L_1' = Nutzleistung in Kilowatt, gewonnen aus L_0 bzw. L_0',
L = während der Betriebsdauer insgesamt verfügbare Nutzleistung in Kilowatt,
L' = Nennleistung in Kilowatt der Maschinen, welche die Nutzleistung abgeben,
E_0 = während T_0 verfügbare Bruttoenergie in Kilowattstunden,
E bzw. E_1 = Nutzenergie in Kilowattstunden, gewonnen aus E_0,
e_0 = während der Dauer einer Betriebsperiode verfügbare Bruttoenergie in Kilowattstunden,
e_1 = während t_1 aus der jeweiligen Bruttoleistung gewonnene Nutzenergie,
e_2 = während des Betriebsstillstandes $t_0 - t_1$ aufgespeicherte Energie in Kilowattstunden,
e_3 = Nutzenergie, gewonnen aus der aufgespeicherten Energie in Kilowattstunden,
e = insgesamt während t_1 gewonnene Nutzenergie in Kilowattstunden,
η_0 = Wirkungsgrad der Maschinen, welche die Bruttoleistung in Nutzleistung umwandeln,
$\eta_s = \eta_1 \eta_2$ = Gesamtwirkungsgrad der Speicherung,
$v = \frac{\eta_s}{\eta_0}$,
γ_0 = energiewirtschaftlicher Wirkungsgrad, bezogen auf die Spieldauer T_0, bezw. auf t_0,
G = während T_0 erzielter Gewinn in ℳ,
S_{k0} = während T_0 verbrauchte Gestehungskosten in ℳ,
a = auf die Leistungseinheit der maschinellen Einrichtung bezogenes Anlagekapital in ℳ/kW,
A = gesamtes Anlagekapital,
B = Kosten für Betriebsmittel,
C = Kosten für Bedienung u. a.

Es gibt eine Reihe von Naturkräften, wie fließendes Wasser, Ebbe und Flut, Wind u. a., die mit mehr oder weniger veränderlicher Stärke während gewisser Zeitabschnitte zur Verfügung stehen. Nicht immer, ja sogar in seltenen Fällen, werden die in ihnen vorhandenen Energiemengen voll ausgenützt, obwohl gerade in der Gegenwart mit Rücksicht auf den herrschenden Kohlenmangel die sparsame Energiewirtschaft eine außerordentlich wichtige Rolle spielt.

Die Ausnützung dieser Kräfte darf aber nicht nur nach energiewirtschaftlichen Grundsätzen erfolgen, sie muß auch von finanziellem Erfolg begleitet sein. Ein Ziel der technischen Wissenschaft ist es, die Ausnützung in dem Maße zu bewerkstelligen, daß energiewirtschaftliche und finanzielle Erfolge in richtigem Verhältnis zueinander stehen.

Die tatsächlichen Verhältnisse in mathematische Formeln zu fassen, ist nicht ohne weiteres möglich, da die Veränderlichkeit derselben von Zufällen abhängt, die sich nicht in Formeln zwängen lassen. Durch Festlegung bestimmter Voraussetzungen läßt sich aber ein in Formeln ausdrückbares Bild der Vorgänge, ein Maßstab für die Wertung der wichtigsten Größen schaffen, mit dessen Hilfe man die tatsächlich auftretenden Verhältnisse beurteilen kann.

In der folgenden Betrachtung sollen eine Reihe von Annahmen getroffen werden, die eine einfache und übersichtliche Darstellung der in Wirklichkeit viel verwickelteren Abhängigkeiten der einzelnen Größen voneinander ermöglichen.

Es wird angenommen, daß eine Naturkraft zur Verfügung steht, deren Stärke sich innerhalb eines begrenzten Zeitabschnittes nach einem bestimmten Gesetze verändert, das während der aufeinanderfolgenden gleichen Zeitabschnitte unveränderlich ist. Zur Untersuchung einer solchen Naturkraft genügt die Betrachtung eines Zeitabschnittes, dessen Größe mit Spieldauer T_0 bezeichnet werden soll. Die Bruttoleistung L_0 sei in der Zeit nach dem Gesetze $L_0 = \varphi_0(t)$ veränderlich, wobei sich diese gesetzmäßige Veränderlichkeit nur über die Spieldauer T_0 erstreckt. In Abb. 1 ist diese Gesetzmäßigkeit beispielsweise durch eine Kurve dargestellt, die der Veränderlichkeit der Leistung einer Wasserkraft während eines Jahres in einem besonderen Fall entspricht.

Während der Spieldauer T_0 steht somit eine Bruttoenergie

$$E_0 = \int_0^{T_0} L_0 \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

zur Verfügung, die in Abb. 1 durch die schraffierte Fläche veranschaulicht wird. Ist es mit Hilfe maschineller Einrichtungen möglich, die zur Verfügung stehende Bruttoleistung teilweise, und zwar mit dem Wirkungsgrad $0 < \eta_0 \leq 1$, nutzbar zu machen, so beträgt die jeweilige Nutzleistung

$$L_1 = L_0 \eta_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

und die während der Spieldauer bei ununterbrochener Umwandlung gewonnene Nutzenergie

$$E_1 = \int_0^{T_0} L_1 \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Wird aus Gründen der Übersichtlichkeit η_0 als unveränderlich angenommen, so ergibt sich unter Benützung der Gleichungen (3), (2) und (1)

$$E_1 = \eta_0 \int_0^{T_0} L_0 \, dt = \eta_0 E_0 \quad \ldots\ldots\ldots (4).$$

Bezeichnet man mit energiewirtschaftlichem Wirkungsgrad das Verhältnis zwischen gewonnener Nutzenergie und aufgewendeter Energie, so beträgt in diesem Falle der energiewirtschaftliche Wirkungsgrad

$$\gamma_0 = \frac{E_1}{E_0} = \eta_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Bis hierher wurde angenommen, daß die verfügbare Bruttoleistung ununterbrochen in Nutzleistung umgewandelt wird. Viele Betriebe arbeiten ja auch ohne Unterbrechung Tag und

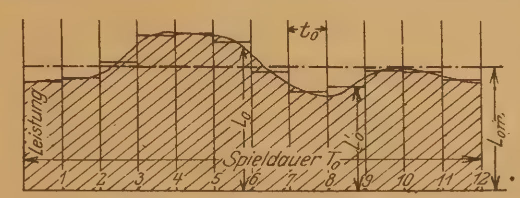


Abb. 1. Veränderlichkeit einer Wasserkraft während eines Jahres.

Nacht, manche sogar auch während der Sonn- und Feiertage. Andre begnügen sich aus verschiedenen Gründen mit beispielsweise täglich achtstündiger Arbeitszeit und legen den Betrieb während des Restes des Tages und während der Nacht still. Es liegt also in gewissen Fällen nicht ununterbrochen, sondern nur während der Dauer des Betriebes Bedarf an Nutzarbeit vor.

Um einen solchen Fall besser untersuchen zu können, sei angenommen, daß der Wechsel von Arbeitszeiten und Stillständen gesetzmäßig erfolgt, mit der besonderen Bedingung, daß sämtliche während einer Spieldauer vorkommenden Betriebszeiten gleiche Dauer haben und durch untereinander gleich lange Stillstände unterbrochen werden. Unter diesen Annahmen wird die Spieldauer T_0 in n gleiche Zeitabschnitte von der Dauer $t_0 = \frac{T_0}{n}$ (Dauer einer Betriebsperiode) zerlegt. Während eines solchen Zeitabschnittes t_0 wechselt eine Arbeitszeit von der Dauer t_1 (Betriebsdauer) mit einem Stillstand von der Dauer $t_0 - t_1$ ab. Die während der Betriebsdauer $0 \leq t_1 \leq t_0$ gewonnene Nutzenergie beträgt

$$e_1 = \int_0^{t_1} L_1 \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6).$$

Mit Hilfe der Gl. (2) ergibt sich hierfür

$$e_1 = \eta_0 \int_0^{t_1} L_0 \, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7).$$

Während der Betriebsperiode t_0 steht aber die Bruttoenergie

$$e_0 = \int_0^{t_0} L_0 \, d\, t \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (8)$$

zur Verfügung.

Der auf den Zeitabschnitt t_0 bezogene energiewirtschaftliche Wirkungsgrad γ_0 ergibt sich aus

$$\gamma_0 = \frac{e_1}{e_0} = \eta_0 \frac{\int_0^{t_1} L_0 \, d\, t}{\int_0^{t_0} L_0 \, d\, t} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (9).$$

Da der Wert des Integrals $\int_0^{t_1} L_0 \, d\, t$ kleiner als der des Integrals $\int_0^{t_0} L_0 \, d\, t$ ist, so gilt

$$0 \leqq \frac{\int_0^{t_1} L_0 \, d\, t}{\int_0^{t_0} L_0 \, d\, t} \leqq 1,$$

d. h. der auf t_0 bezogene energiewirtschaftliche Wirkungsgrad ist bei unterbrochener Leistungsumwandlung kleiner als η_0 und somit auch kleiner als der auf dieselbe Zeit bezogene energiewirtschaftliche Wirkungsgrad bei Betrieb ohne Unterbrechung, der ja gleich η_0 ist.

Zwecks Vereinfachung der Gl. (9) sei angenommen, daß die Bruttoleistung während einer Betriebsperiode t_0 unveränderlich ist und den Wert

$$L_0' = \frac{\int_0^{t_1} L_0 \, d\, t}{t_0} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

hat (siehe auch Abb. 1). Mit für die Beurteilung der Verhältnisse genügender Genauigkeit kann man dann für e_1 die Gleichung

$$e_1 = \eta_0 L_0' t_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (11)$$

aufstellen, wobei also

$$\int_0^{t_1} L_0 \, d\, t = L_0' t_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (12)$$

gesetzt wird.

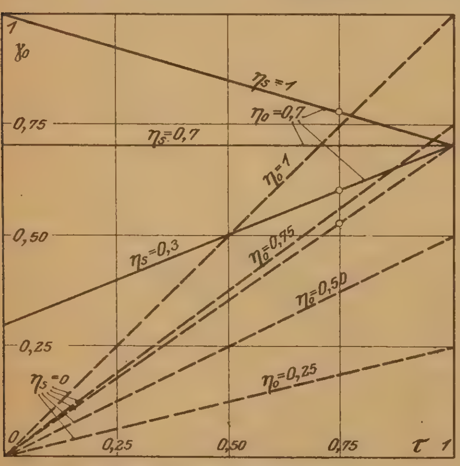
Aus Gl. (8) wird unter Benützung der Gl. (10)

$$e_0 = L_0' t_0 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (13).$$

Für γ_0 ergibt sich

$$\gamma_0 = \frac{e_1}{e_0} = \eta_0 \frac{t_1}{t_0} = \eta_0 \tau \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (9a),$$

wenn das Verhältnis $\frac{t_1}{t_0}$ mit τ (relative Betriebsdauer) bezeichnet wird. Da $0 \leqq t_1 \leqq t_0$ angenommen worden ist, so bleibt τ in den Grenzen $0 \leqq \tau \leqq 1$, was wieder bedingt, daß der energiewirtschaftliche Wirkungsgrad bei unterbrochener Leistungsumwandlung ungünstiger als bei Dauerbetrieb ausfällt. Die Ursache dieser schon weiter oben auf anderem Wege gefundenen Verschlechterung ist die Nichtverwendung der während des Betriebstillstandes $t_0 - t_1$ verfügbaren Bruttoenergie.



– – – – energiewirtschaftlicher Wirkungsgrad bei Betrieb ohne Speicherung
——— desgl. mit Speicherung

Abb. 2. Abhängigkeit des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades γ_0 von der relativen Betriebsdauer τ.

Den Einfluß der relativen Betriebsdauer auf den energie-wirtschaftlichen Wirkungsgrad zeigen die gestrichelten Geraden in Abb. 2.

Durch zwei Zahlenbeispiele möge noch auf praktische Fälle hingewiesen werden, die zeigen, daß der energiewirtschaftliche Wirkungsgrad um so schlechter wird, je kürzer die Betriebsdauer ist.

1) $t_0 = 24$ Stunden, $t_1 = 8$ Stunden, $\eta_0 = 0,6$;

dann ist $\qquad \gamma_0 = 0,6 \frac{8}{24} = 0,2.$

2) $t_0 = 24$ Stunden, $t_1 = 10$ Stunden, $\eta_0 = 0,6$;

es ergibt sich: $\qquad \gamma_0 = 0,6 \frac{10}{24} = 0,25.$

Während der Spieldauer T_0 steht nach Gl. (1) die Energie $E_0 = \int_0^{T_0} L_0 \, d\, t$ zur Verfügung. In der gleichen Zeit wird aber bei unterbrochener Umwandlung nur die Summe der während der regelmäßig aufeinanderfolgenden Betriebszeiten t_1 gewonnenen Energiemengen nutzbar gemacht. Der auf die Spieldauer bezogene energiewirtschaftliche Wirkungsgrad beträgt somit

$$\gamma_0 = \frac{\sum e_1}{E_0} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (14).$$

Bei unveränderlichem η_0 und t_1 ergibt sich aus Gl. (11)

$$\gamma_0 = \frac{\eta_0 t_1 \sum L_0'}{E_0}.$$

Setzt man

$$E_0 = \int_0^{T_0} L_0 \, d\, t = L_{0m} T_0 = L_{0m} n\, t_0 \quad \ldots \ldots \quad (15),$$

so wird

$$\gamma_0 = \eta_0 \tau \frac{\sum L_0'}{n\, L_{0m}} = \eta_0 \tau \varepsilon \quad \ldots \ldots \ldots \quad (16),$$

wenn mit ε das Verhältnis $\frac{\sum L_0'}{n\, L_{0m}}$ bezeichnet wird. L_{0m} bedeutet seiner Definitionsgleichung (15) nach die durchschnittliche Bruttoleistung, bezogen auf die Spieldauer (siehe Abb. 1).

Wird in jedem der n Zeitabschnitte t_0 während der Zeit t_1 Nutzenergie gewonnen, so wird $\sum L_0' = n\, L_{0m}$, $\varepsilon = 1$ und $\gamma_0 = \eta_0 \tau$. Erfolgt dagegen in einigen Zeitabschnitten t_0 keine Gewinnung von Nutzenergie, dann wird

$$\sum L_0' < n\, L_{0m}, \text{ also } \varepsilon < 1$$

und $\gamma_0 < \eta_0 \tau$.

An dieser Stelle sei zur Erläuterung der Bedeutung des Verhältnisses ε auf den praktischen Fall der teilweisen Ausnützung einer Wasserkraftanlage hingewiesen.

Nimmt man während eines Zeitabschnittes von sieben Tagen die Leistung L_0' als unveränderlich an und gewinnt nur während sechs Tagen, bei Stillstand am Sonntag, täglich t_1 Stunden hindurch Nutzenergie, so wird

$$\varepsilon = \frac{\sum L'_0}{n\, L_{0m}} = \frac{6}{7}.$$

In all den bisher betrachteten Fällen müssen die Maschinen, welche die Bruttoleistung in Nutzleistung umwandeln, derart bemessen sein, daß sie jederzeit die veränderliche Bruttoleistung L_0 bzw. L_0' aufnehmen und in die Nutzleistung L_1 bzw. in $L_1' = L_0' \eta_0$ umwandeln können.

Bei der zuletzt beschriebenen Art der Ausnützung von Naturkräften findet die Gewinnung von Nutzenergie nur während eines Teiles der Zeit t_0 statt, und zwar während der Zeit t_1. Die während der übrigen Zeit $t_0 - t_1$ verfügbare Bruttoenergie wird aber nicht ausgenützt und geht verloren, was ja der Grund für die Verminderung des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades ist.

Vielfach ist man aber mit Zuhilfenahme geeigneter Einrichtungen imstande, die während der Zeit des Betriebsstillstandes $t_0 - t_1$ verfügbare Energie derart umzuformen, daß sie unter gewissen Verlusten aufbewahrt, gespeichert werden kann, um während der nächstfolgenden Betriebszeit nutzbar gemacht zu werden. Um die Energie speichern zu können, wird die während des Betriebsstillstandes jeweils verfügbare Bruttoleistung L_0 durch die erwähnten Einrichtungen in einen zur Speicherung geeigneten Zustand umgeformt, wobei die dabei entstehenden Leistungsverluste durch den Wirkungsgrad $0 \leqq \eta_1 \leqq 1$ rechnerisch berücksichtigt werden. Während der Zeit $t_0 - t_1$ wird demnach die Energie

$$e_2 = L_0' \eta_1 (t_0 - t_1) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (17)$$

gespeichert, wenn man an Stelle von L_0 der Einfachheit wegen den während t_0 konstanten Wert L_0' [siehe Gl. (10)] setzt.

Während der nächstfolgenden Betriebszeit wird dann diese Energie in Nutzenergie umgewandelt. Die dabei auftretenden neuerlichen Verluste werden rechnerisch durch den Wirkungsgrad $0 \leq \eta_2 \leq 1$ erfaßt. Die so gewonnene Nutzenergie hat demnach den Wert

$$e_3 = e_2 \eta_2 = L_0' \eta_1 \eta_2 (t_0 - t_1) = L_0' \eta_s (t_0 - t_1) \quad . . . (18),$$

wenn mit $\eta_s = \eta_1 \eta_2$ der Gesamtwirkungsgrad der Speicherungsumformung bezeichnet wird.

Bezüglich des Gesamtwirkungsgrades der Speicherung η_s sei noch folgendes bemerkt: Die Speicherungseinrichtung kann so getroffen werden, daß $\eta_1 > \eta_0$ ist, und daß auch die Umwandlung der aufgespeicherten Energie in Nutzenergie mit einem Wirkungsgrad $\eta_2 > \eta_0$ erfolgt. Dann wird unter Umständen $\eta_s > \eta_0$ und das Verhältnis $v = \frac{\eta_s}{\eta_0}$ größer als 1.

Dieser Fall kann z. B. bei Wasserkraftanlagen auftreten, bei denen die während des Betriebstillstandes verfügbaren Wassermengen in einem Staubecken gespeichert werden. η_1 ist dabei fast 1. Da, wie später gezeigt wird, bei Umwandlung der gespeicherten Energie in Nutzenergie unter Umständen bedeutend größere Maschinenleistungen in Frage kommen, als der Bruttoleistung L_0' entsprechen, so ist ein Wirkungsgrad η_2 dieser Maschinen denkbar, der größer als η_0 ist. η_s kann dann auch größer als η_0 ausfallen. Muß aber die Energie zwecks Speicherung die der Bruttoleistung L_0' entsprechend gebauten Maschinen durchlaufen, wie das z. B. bei Speicherung mit Hilfe elektrischer Akkumulatoren der Fall ist, so ist η_1 im besten Falle gleich η_0, und da $\eta_2 < 1$ ist, so muß η_s unbedingt kleiner als η_0 werden. $v = \frac{\eta_s}{\eta_0}$ wird dann auch kleiner als 1 sein.

Da während der Betriebzeit gleichzeitig die Nutzenergie $e_1 = L_0' \eta_0 t_1$ und die Nutzenergie $e_3 = L_0' \eta_s (t_0 - t_1)$ gewonnen werden, so wird insgesamt die Energie

$$e = e_1 + e_3 = L_0' t_0 \eta_0 [\tau (1 - v) + v] \quad . . . . . . (19)$$

nutzbar gemacht, wobei v das Verhältnis $v = \frac{\eta_s}{\eta_0}$ bedeutet.

Der auf die Zeit t_0 bezogene energiewirtschaftliche Wirkungsgrad beträgt bei dieser Art der Betriebsführung

$$\gamma_0 = \frac{e}{e_0} = \eta_0 [\tau (1 - v) + v] = \tau (\eta_0 - \eta_s) + \eta_s \quad . . . . (20)$$

In Abb. 2 ist γ_0 als Funktion von τ durch Gerade dargestellt, und zwar für verschiedene η_0 und η_s.

Man erkennt ohne weiteres, daß, gleiches η_0 und τ vorausgesetzt, höhere Wirkungsgrade der Speicherung günstigere Werte von γ_0 ergeben. Die Speicherung hat also in jedem Falle eine für die Energiewirtschaft günstige Wirkung.

Für den Fall $\eta_s = 0$ ergibt sich $\gamma_0 = \eta_0 \tau$, also der schon früher für den Betrieb ohne Speicherung berechnete Wert, weil eine Speicherung mit dem Wirkungsgrad null eben erfolglos ist.

Die zahlenmäßige Verbesserung des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades durch die Speicherung sei durch folgendes Beispiel gezeigt: $t_0 = 24$ h, $t_1 = 8$ h, $\eta_0 = 0{,}6$, $\eta_s = 0{,}5$; dann ist $\gamma_0 = \frac{8}{24}(0{,}6 - 0{,}5) + 0{,}5 = 0{,}53$. Dagegen beträgt, wie früher gezeigt, γ_0 bei Betrieb ohne Speicherung, sonst aber unter gleichen Umständen, nur 0,2.

Im Sinne der weiter oben bei der Besprechung der Gl. (14) gegebenen Erläuterungen und unter den dort gemachten Annahmen ergibt sich für den auf die Spieldauer T_0 bezogenen energiewirtschaftlichen Wirkungsgrad der Wert

$$\gamma_0 = \eta_0 [\tau (1 - v) + v] \, \varepsilon \quad . . . . (21).$$

Ein einfaches und übersichtliches Bild über den Erfolg der Speicherung in energiewirtschaftlicher Beziehung ergibt das Verhältnis

$$\beta = \frac{\text{energiewirtschaftlicher Wirkungsgrad mit Speicherung}}{\text{energiewirtschaftlicher Wirkungsgrad ohne Speicherung}},$$

$$\beta = (1 - v) + \frac{v}{\tau} \quad . . . . (22).$$

In Abb. 3 sind Kurven für verschiedene Werte von v dargestellt, die β in Abhängigkeit von τ zeigen. Je größer v, desto günstiger ist der Erfolg der Speicherung in energiewirtschaftlicher Beziehung. Sie zeigen auch deutlich die große Bedeutung der Speicherung für Betriebe mit kleiner relativer Betriebsdauer, also mit kurzen Arbeitszeiten. Für den größten überhaupt denkbaren Wert von v, d. i. für $v = \frac{\eta_s}{\eta_0} = \frac{1}{\eta_0}$, wobei $\eta_s = 1$, ergibt sich die Gleichung:

$$\beta = 1 - \frac{1}{\eta_0} + \frac{1}{\eta_0 \tau}.$$

Diese Kurve nähert sich an der Stelle $\tau = \infty$ asymptotisch einer im Abstand $1 - \frac{1}{\eta_0}$ parallel zur Abszissenachse gezogenen Geraden. Alle übrigen Kurven der Kurvenschar liegen innerhalb dieser Grenzkurve.

Das zuletzt angeführte Zahlenbeispiel ergibt ein

$$\beta = 1 - \frac{0{,}5}{0{,}6} + \frac{0{,}5}{0{,}6} \cdot \frac{24}{8} = 2{,}66,$$

d. h. der energiewirtschaftliche Wirkungsgrad ist 2,66 mal so groß wie bei Betrieb ohne Speicherung. Zu demselben Ergebnis führen die Zahlenwerte $\frac{0{,}53}{0{,}2} = 2{,}66$.

Wird der Übersichtlichkeit wegen angenommen, daß die aufgespeicherte und die unmittelbar aus L_0' gewonnene Energie während der Betriebszeit t_1 mit konstanter Nutzleistung abgegeben wird, so ist während der Zeit t_1 insgesamt die Nutzleistung

$$L = \frac{e}{t_1} = L'_0 \eta_0 \left[(1 - v) + \frac{v}{\tau}\right] = L_0' \eta_0 \beta \quad . . . . (23)$$

verfügbar. Die Werte dieser Nutzleistung in Abhängigkeit von τ werden, gemessen im Maßstabe $L_0' \eta_0 = 1$, ebenfalls durch die Kurven der Abb. 3 veranschaulicht.

Unter den gemachten Voraussetzungen müssen die maschinellen Einrichtungen derart bemessen sein, daß sie imstande sind, die gesamte Nutzleistung L abzugeben. L kann daher allerdings nur zur allgemeinen Beurteilung der Größe der ganzen Anlage dienen. Die Kurven der Abb. 3 zeigen deutlich das starke Wachsen der Maschinenleistungen bei kleiner werdendem τ, also bei kürzeren Betriebszeiten.

Für die Untersuchung des finanziellen Erfolges ist das Verhalten des auf die Spieldauer bezogenen Gewinnes von Wert. Ein anderes kennzeichnendes Merkmal der Eigenheit des Betriebes sind auch die Erzeugungskosten der Nutzenergieeinheit.

Der auf die Spieldauer bezogene Gewinn wird aus dem Unterschied zwischen dem für die insgesamt erzeugte Nutzenergie erzielten Verkaufspreis und den für die Erzeugung derselben aufgewendeten Kosten gebildet. Der erzielte Verkaufspreis stellt sich als Produkt aus Verkaufspreis für die Energieeinheit und der insgesamt erzeugten Nutzenergie dar. Bezeichnet man den Einheitsverkaufspreis mit V_0 und die insgesamt erzeugte Energie mit E, so ist

$$V = V_0 E \quad . . . . (24).$$

Die erzeugte Nutzenergie E ist nach den vorstehenden Ausführungen gleich der Summe der in den Betriebszeiten gewonnenen Energiemengen, also $E = \sum e$. Unter den früher gemachten Voraussetzungen mit Benützung der Gl. (19) und der Beziehung $\sum L'_0 = n L_{0m} \varepsilon$ wird

$$E = n L_{0m} t_0 \eta_0 \varepsilon [\tau (1 - v) + v] \quad . . . . (25)$$

Bei Wahl eines Maßstabes $n L_{0m} t_0 \varepsilon = 1$ können die in Abb. 2 gezeichneten Kurvenscharen zur Darstellung der erzeugten Nutzenergie in Abhängigkeit von τ, η_0 und η_s dienen. Sie zeigen deutlich den Mehrgewinn an Nutzenergie bei Betrieb mit Speicherung.

Die zur Erzeugung der Nutzenergie E aufgewendeten Kosten werden von den Kosten für Tilgung und Verzinsung des gesamten Anlagekapitals, von den Kosten für verbrauchte Betriebsmittel, wie Schmieröle, Putzmaterialien u. a. und den Kosten für Bedienungspersonal u. a. gebildet. Um die Darstellung möglichst übersichtlich zu machen, sei die Annahme getroffen, daß das gesamte Anlagekapital der Größe der die Nutzenergie abgebenden Maschinen verhältnisgleich sei.

Bezeichnet man diese Maschinengröße (als Leistung gemessen) mit L' und das für jede Leistungseinheit aufgewendete Kapital mit a, so wird das Anlagekapital

$$A = a L' \quad . . . . (26)$$

Stellt außerdem $0 < p < 1$ einen Faktor dar, der, mit dem Anlagekapital vervielfacht, den für Tilgung und Verzinsung während der Spieldauer T_0 aufzuwendenden Betrag ergibt, so ergibt sich für diesen Betrag

$$A_0 = a L' p \quad . . . (27).$$

Die gesamte Maschinengröße L' ist eine unveränderliche Größe, die so gewählt werden muß, daß, wie schon früher erwähnt, die Maschinen die veränderliche Nutzleistung

$$L = L_0' \eta_0 \beta \quad . . . (23)$$

abgeben können. L_0' ist während T_0 veränderlich.

Am einfachsten ist es, die Maschinengröße L' in Beziehung zur durchschnittlichen Bruttoleistung, einer Größe, die auch

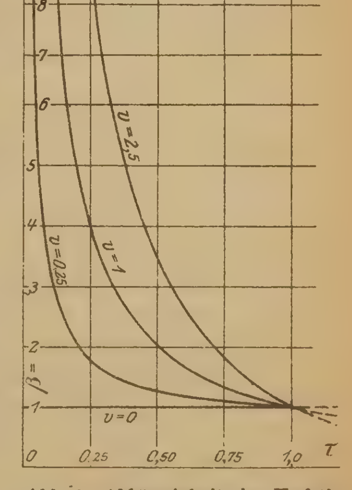


Abb. 3. Abhängigkeit des Verhältnisses β von der relativen Betriebsdauer τ für verschiedene Werte von $v = \frac{\eta_s}{\eta_0}$

während der Spieldauer unveränderlich ist, zu bringen, durch die Gleichung

$$L' = L_{0m}\,\delta\,\eta_0\,\beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (28),$$

wobei δ ein unveränderlicher Faktor ist.

Das Verhältnis $\frac{L}{L'} = \ddot{u}$ bringt den Belastungszustand der Maschinen zum Ausdruck und kann zur Bestimmung des δ dienen. Es ist $\ddot{u} = \frac{L}{L'} = \frac{L_0'}{L_{0m}\,\delta}$.

Setzt man für L_0' den größten während der Spieldauer auftretenden Wert der Bruttoleistung (siehe Abb. 1) L'_0 ein, so gibt $\ddot{u}$ die größte auftretende Überlastung der Maschinen an, die aus maschinentechnischen Gründen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten darf, daher von vornherein angenommen werden muß. Es ergibt sich also:

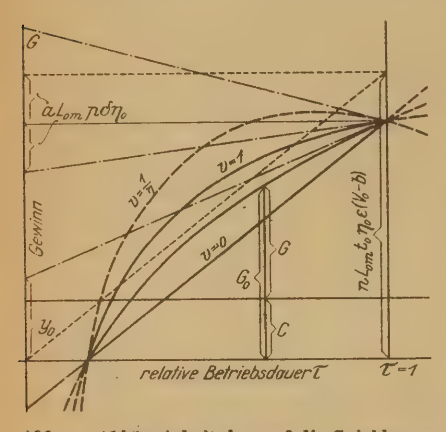


Abb. 4. Abhängigkeit des auf die Spieldauer bezogenen Gewinnes von der relativen Betriebsdauer.

$$\delta = \frac{L'_{0m}}{\ddot{u}\,L_{0m}}.$$

Für A_0 ergibt sich sonach aus den Gleichungen (27) und (28)

$$A_0 = a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0\,\beta \quad (29).$$

Bezüglich der Kosten für Schmiermittel und andre Betriebsmittel sei die Annahme getroffen:

$$B = b\,E = b\,n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,[\tau\,(1-v)+v] \quad \ldots\ldots (30),$$

wenn für E die Gl. (25) eingesetzt wird.

Die Kosten für die Bedienung u. a. sollen als unabhängig von der Größe der Anlage betrachtet werden, was beim Vergleich verschiedener, allerdings in gewissen Grenzen gehaltener Anlagen auch zutrifft; ihre Größe sei durch C bezeichnet.

Der auf die Spieldauer T_0 bezogene Gewinn G beträgt daher

$$G = V - A_0 - B - C = V_0 E - a\,L'p - b\,E - C = E\,(V_0-b) - a\,L'p - C$$
$$= n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b)\,(1-v)\,\tau + L_{0m}\,\eta_0\,[n\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b)+a\,p\,\delta]\,v$$
$$- a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0 - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0\,v\,\frac{1}{\tau} - C \quad \ldots\ldots\ldots (31).$$

Setzt man der Übersichtlichkeit wegen

$$k_1 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b)\,(1-v) \quad \ldots\ldots\ldots (32),$$
$$k_2 = L_{0m}\,\eta_0\,[n\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b)+a\,p\,\delta]\,v - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0 \quad \ldots (33),$$
$$k_3 = a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0\,v \quad \ldots\ldots\ldots (34),$$

so wird

$$G = k_1\,\tau + k_2 - k_3\,\frac{1}{\tau} - C \quad \ldots\ldots\ldots (35).$$

Um diese Gleichung noch einfacher darstellen zu können, setzt man $C=0$ und erhält

$$G_0 = k_1\,\tau + k_2 - k_3\,\frac{1}{\tau} \quad \ldots\ldots\ldots (36).$$

In Abb. 4 ist die dieser Gleichung entsprechende Kurvenschar für verschiedene Werte von v und unveränderliches η_0 gezeichnet. Die Werte von G erhält man aus den Gleichungen (35) und (36)

$$G = G_0 - C \quad \ldots\ldots\ldots (37),$$

zeichnerisch also, indem man die Abszissenachse um den Betrag $+C$ verschiebt.

Für G_0 erhält man nach Gl. (36) die folgenden besonderen Werte:

1) Setzt man $\tau=1$, so wird unter Benutzung der Gleichungen (32), (33), (34) und (36)
$$G_0 = k_1 + k_2 - k_3 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b) - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0.$$

2) Setzt man $\tau = \frac{a\,p\,\delta}{n\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b)}$, so wird $G_0 = 0$.

Die Werte für G_0 an den Stellen $\tau=1$ und $\tau=\frac{a\,p\,\delta}{n\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b)}$ sind unabhängig von v, zeichnerisch also für alle Kurven gemeinsame Punkte.

3) Für alle Werte $v \lesseqgtr 0$ wird an der Stelle $\tau=0$ G_0 unendlich auf der negativen Seite. Die Ordinatenachse bildet also eine für die Kurvenschar gemeinsame Asymptote.

4) Für den Fall des Betriebes ohne Speicherung, also für $\eta_s=0$, also auch $v=0$, wird
$$k_1 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b),$$
$$k_2 = -a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0,$$
$$k_3 = 0$$
und
$$G_0 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b)\,\tau - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0,$$
darstellbar durch eine Gerade. An der Stelle $\tau=0$ wird in diesem Fall
$$G_0 = -a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0.$$

Um den Verlauf der Kurven für verschiedene v besser erkennen zu können, soll die Gleichung für die Tangente an der Stelle $\tau=1$ gebildet werden. Die trigonometrische Tangente des Winkels, den die geometrische Tangente mit der Abszissenachse einschließt, seit mit $\operatorname{tg}\alpha$ bezeichnet.

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d\,G_0}{d\,\tau} = k_1 + k_3\,\frac{1}{\tau^2} \quad \ldots\ldots\ldots (38).$$

Die Ordinate der Tangente an der Stelle $\tau=0$ werde mit y_0 bezeichnet. Ihre Größe wird bestimmt durch

$$y_0 = G_0 - \tau\,\operatorname{tg}\alpha = k_2 - 2\,k_3\,\frac{1}{\tau} \quad \ldots\ldots\ldots (39).$$

An der Stelle $\tau=1$ wird $y_0 = k_2 - 2\,k_3$ und unter Benutzung der Gleichungen (33) und (34)

$$y_0 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b)\,v - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0\,(1+v).$$

Betrachtet man die Kurven an der Stelle $\tau=1$ für verschiedene v, so erhält man:

1) $v=0$, also Betrieb ohne Speicherung.
$y_0 = -a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0$, das ist der im vorhergehenden Abschnitt unter 4) berechnete Punkt an der Stelle $\tau=0$.

2) $v=1$, also $\eta_s=\eta_0$:
$$y_0 = n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,(V_0-b) - 2\,a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0.$$
Die Konstruktion dieses Punktes ist zeichnerisch leicht möglich, Abb. 4.

3) $v=\frac{1}{\eta_0}$, also $\eta_s=1$, das ist der größte Wert, den η_s und somit v erreichen kann; dann wird
$$y_0 = n\,L_{0m}\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b) - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,(\eta_0+1).$$

4) $y_0 = n\,L_{0m}\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b) - a\,p\,\delta\,L_{0m}\,\eta_0$. In diesem Falle ist die Tangente parallel zur Abszisse.

Das dieser Kurve zugehörige v erhält man aus der Gleichung $y_0 = k_2 - 2\,k_3$ zu

$$v = \frac{n\,L_{0m}\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b)}{n\,L_{0m}\,t_0\,\varepsilon\,(V_0-b) - a\,p\,\delta\,L_{0m}}.$$

v muß demnach immer größer als 1 sein, um eine zur Abszisse parallele Tangente zu ergeben. Ist v größer als $\frac{1}{\eta_0}$, so hat die

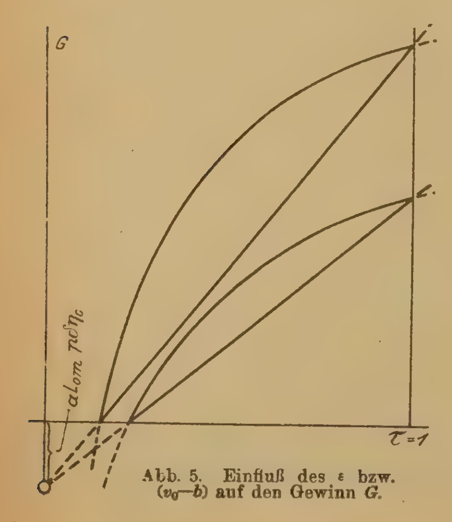


Abb. 5. Einfluß des ε bzw. (v_0-b) auf den Gewinn G.

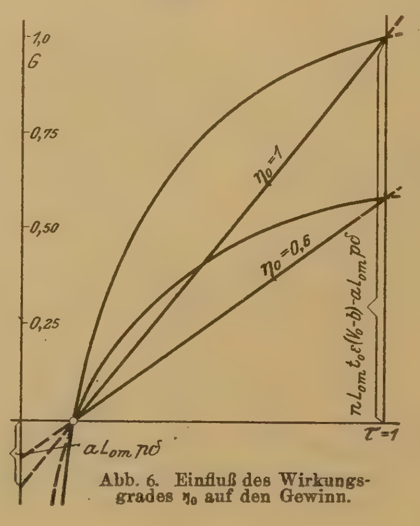


Abb. 6. Einfluß des Wirkungsgrades η_0 auf den Gewinn.

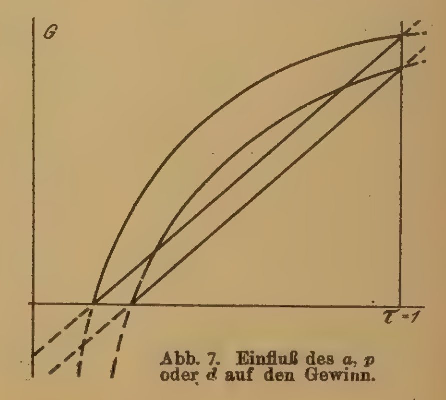


Abb. 7. Einfluß des a, p oder d auf den Gewinn.

mit diesem v gebildete Kurve keine praktische Bedeutung, denn praktisch kann v niemals größer als $\frac{1}{\eta_0}$ sein, weil η_0 nie größer als 1 werden kann. Ist dagegen v kleiner als $\frac{1}{\eta_0}$, so ist noch ein größeres v denkbar, das praktisch erreicht werden kann und die in Abb. 4 gestrichelte Kurve ergibt. In einem solchen Falle kann demnach bei einem gewissen $\tau < 1$ ein größerer Gewinn erzielt werden, als bei Betrieb ohne Speicherung mit ununterbrochener Nutzenergiegewinnung.

Es sei nun noch kurz auf den Einfluß hingewiesen, den die in der Gl. (31) für G vorkommenden Größen auf den Gewinn haben:

Für eine bestimmte Naturkraft sind die Werte von n, L_{0m} und t_0 unveränderlich.

ε und τ sind von der Art der Betriebsführung,

η_0, v und δ von der Wahl der verwendeten Maschinen abhängig.

V_0, b, C, a und p werden durch die finanzwirtschaftliche Lage des Errichtungsortes der Anlage bestimmt. Der Einfluß von τ und v ist schon genügend besprochen worden und läßt sich auch aus Abb. 4 unmittelbar ablesen.

Ein Wachsen von ε und $(V_0 - b)$, also ein Wachsen von V_0 oder eine Verminderung von b, verursacht unter sonst gleichen Umständen steileres Ansteigen der Kurve (Gerade) für Betrieb ohne Speicherung, unter Beibehaltung des Schnittpunktes dieser Kurven mit der Ordinatenachse und hat ein Wachsen des Gewinnes zur Folge. Die obere Grenze bilden Gewinne für $\varepsilon = 1$ bzw. $b = 0$, Abb. 5.

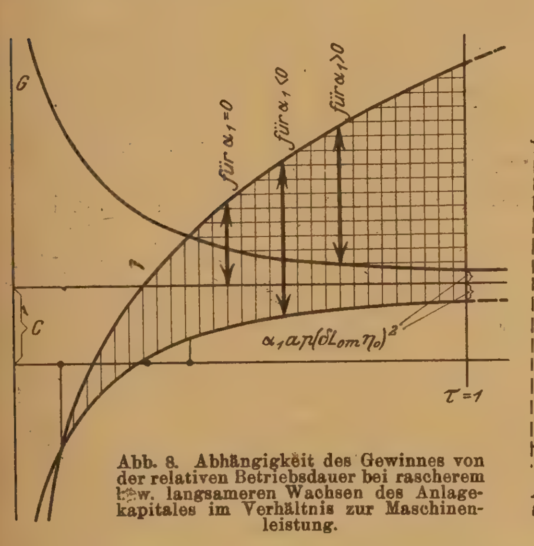


Abb. 8. Abhängigkeit des Gewinnes von der relativen Betriebsdauer bei rascherem bzw. langsameren Wachsen des Anlagekapitales im Verhältnis zur Maschinenleistung.

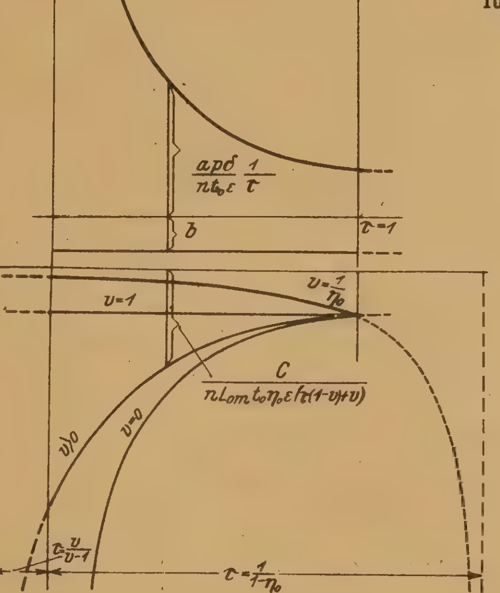


Abb. 9 und 10. Abhängigkeit der auf die Einheit der gewonnenen Nutzenergie bezogenen Gestehungskosten von der relativen Betriebsdauer.

Der Wert für G' unterscheidet sich also nur um $\alpha_1 a p L'^2$ von dem Werte für G.

Ein positives α_1 bedeutet ein rascheres Wachsen des Anlagekapitals im Vergleich zur Veränderung der Maschinenleistung.

Langsameres Wachsen des Anlagekapitals wird durch ein negatives α_1 gekennzeichnet.

Bei verhältnisgleichem Wachsen beider Größen wird $\alpha_1 = 0$. Setzt man für L' die Gl. (28) und benutzt außerdem (22), so erhält man für den Summanden

$$\alpha_1 a p L'^2 = \alpha_1 a p \left\{\delta L_{0m} \eta_0 \left[(1 - v) + \frac{v}{\tau}\right]\right\}^2 \quad . \; . \; . \; (43).$$

Der absolute Wert dieses Ausdruckes zeigt ähnliche Veränderlichkeit wie das Verbesserungsverhältnis β. Die den Summanden $\alpha_1 a p L'^2$ darstellenden Kurven zeigen einen den Kurven in Abb. 3 ähnlichen Verlauf.

In Abb. 8 ist, um den Einfluß dieses Korrekturgliedes auf den Gewinn zu zeigen, einmal die Kurve für $\alpha_1 > 0$ (rascheres Wachsen des Anlagekapitals) und für $\alpha_1 < 0$ (langsameres Wachsen des Anlagekapitals) bezogen auf die Abszissenachse $+ C$ eingezeichnet. Die Ordinaten zwischen den Grenzlinien der senkrecht und gekreuzt schraffierten Fläche geben die Werte des Gewinnes für $\alpha_1 < 0$ und die Ordinaten der nur gekreuzt schraffierten Fläche den Gewinn für $\alpha_1 > 0$ an. Man sieht, im ersten

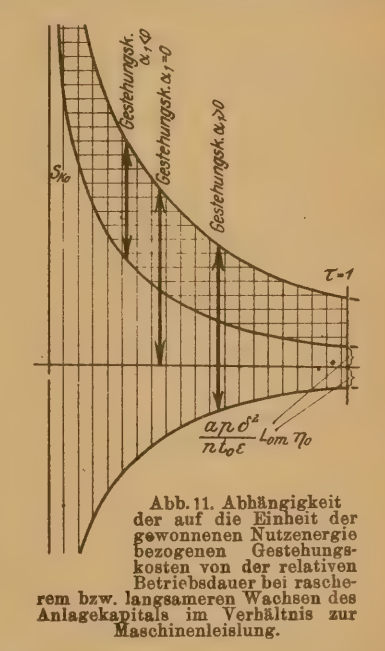


Abb. 11. Abhängigkeit der auf die Einheit der gewonnenen Nutzenergie bezogenen Gestehungskosten von der relativen Betriebsdauer bei rascherem bzw. langsameren Wachsen des Anlagekapitals im Verhältnis zur Maschinenleislung.

Es ist leicht einzusehen, daß eine Verbesserung des Wirkungsgrades η_0 ein Wachsen des Gewinnes zur Folge hat. Zeichnerisch macht sich dies auch in diesem Falle durch steileres Ansteigen der Kurve für Betrieb ohne Speicherung bemerkbar. Als Fixpunkt kommt der von η_0 unabhängige Wert von τ an der Stelle $G_0 = 0$ in Frage, Abb. 6.

a, p und δ beeinflussen den Gewinn in gleicher Weise. Ihre Veränderung bewirkt eine Parallelverschiebung der Kurve für Betrieb ohne Speicherung, und zwar bewirkt ein Steigen der genannten Größen eine Verschiebung nach unten, also eine Verschlechterung des Gewinnes, Abb. 7.

Die bisher für den Gewinn aufgestellte Formel gründet sich auf die Annahme, daß das gesamte Anlagekapital im gleichen Verhältnis wie die Maschinenleistung der die Nutzenergie abgebenden Maschinen wächst. Die Frage, in welchem Maße diese Annahme praktisch berechtigt ist, soll hier nicht erörtert werden. Dagegen soll aber das Verhalten des Gewinnes untersucht werden, wenn das Anlagekapital rascher oder langsamer als die Maschinenleistung wächst.

Eine beliebige Veränderlichkeit des Anlagekapitals in Abhängigkeit von der Maschinenleistung kann durch die Reihe

$$A' = a L' + \alpha_1 a L'^2 + \alpha_2 a L'^3 + \ldots + \alpha_n a L'^n \quad . \; . \; (40)$$

dargestellt werden. Vernachlässigt man die Glieder höherer als der zweiten Ordnung, so erhält man:

$$A' = a L' + \alpha_1 a L'^2$$

und dementsprechend:

$$A_0' = a p L' + \alpha_1 a p L'^2 = A_0 + \alpha_1 a p L'^2 \quad . \; . \; . \; . \; (41),$$

Setzt man in Gl. (31) $G = V - A_0 - B - C$ an Stelle von A_0 den Ausdruck für A_0', so erhält man:

$$G' = V - A_0 - B - C - \alpha_1 a p L_1^2 = G - \alpha_1 a p L'^2 \quad . \; . \; (42).$$

Falle wird der Gewinn bedeutend größer. Auch lassen sich noch Gewinne bei bedeutend kleinerem τ erzielen als bei verhältnisgleichem Ansteigen des Anlagekapitals. Im andern Falle wird der finanzielle Erfolg sehr ungünstig beeinträchtigt.

Zum Schlusse sollen nun noch die auf die Energieeinheit bezogenen Gestehungskosten besprochen werden: Die Größe der auf die Einheit der während der Spieldauer erzeugten Nutzenergie bezogenen Gestehungskosten wird durch die Gleichung

$$S_{k0} = \frac{A_0}{E} + \frac{B}{E} + \frac{C}{E} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (44)$$

bestimmt, wobei wieder vorausgesetzt wird, daß das Anlagekapital im gleichen Verhältnis wie die gesamte Maschinenleistung wächst. Nach Einsetzen der Ausdrücke für A_0, B und E, Gl. (29), (30) und (25), wird

$$S_{k0} = \frac{a p \delta}{n t_0 \varepsilon} \frac{1}{\tau} + b + \frac{C}{n L_{0m} t_0 \eta_0 \varepsilon [\tau (1 - v) + v]} \quad . \; . \; (45).$$

Der erste Summand wird durch eine gleichseitige Hyperbel dargestellt, Abb. 9 und 10. Wichtig ist seine Unabhängigkeit von jeglichem Wirkungsgrad.

b ist eine mit Bezug auf τ konstante Größe und wird am zweckdienlichsten durch eine zur Abszissenachse parallele Gerade (um $- b$ verschoben) dargestellt. Man kann auf diese Weise die Summe $\frac{a p \delta}{n t_0 \varepsilon} \frac{1}{\tau} + b$ leicht ablesen.

Die dem dritten Summanden entsprechende Kurve trägt man am besten von der Parallelen im Abstand b von der Abszisse aus nach unten ab, da man auf diese Weise den Gesamtwert von S_{k0} am leichtesten ablesen kann.

Für $\tau = 1$ ergibt sich $\dfrac{C}{n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon}$;

für $\tau = 0$ wird dieser Summand $\dfrac{C}{n\,L_{0m}\,t_0\,\eta_0\,\varepsilon\,v}$;

für $\tau = \dfrac{v}{v-1}$ wird er unendlich, da der Nenner des Bruches gleich Null ist. Der Vollständigkeit halber sind die Asymptoten an der Stelle $\tau = \dfrac{v}{v-1}$ eingetragen.

Für $v = 0$, also Betrieb ohne Speicherung, ergibt sich die Asymptote an der Stelle $\tau = 0$; für $v = \dfrac{1}{\eta_0}$, also für den größten erreichbaren Speicherungswirkungsgrad, befindet sich die Asymptote an der Stelle $\tau = \dfrac{1}{1-\eta_0}$.

Es zeigt sich, daß die Gestehungskosten für alle Werte von $v \leq 1$ mit abnehmendem τ, also mit abnehmender Betriebszeit, größer werden. Die Verhältnisse werden in dieser Beziehung um so ungünstiger, je kleiner v wird. $v = 0$, also Betrieb ohne Speicherung, ergibt die höchsten Gestehungskosten.

Um nun noch die Veränderlichkeit der Gestehungskosten bei beliebiger Abhängigkeit des Anlagekapitals von der Maschinenleistung zu untersuchen, setzen wir wieder A_0', Gl. (40) und (43), an die Stelle von A_0. Die Gleichung für die Gestehungskosten lautet dann:

$$S_{k'0} = \frac{A_0}{E} + \frac{B}{E} + \frac{C}{E} + \frac{\alpha_1\,a\,p\,\left\{\delta\,L_{0m}\,\eta_0\left[(1-v)+\frac{v}{\tau}\right]\right\}^2}{E}$$

$$= S_{k0} + \alpha_1\,\frac{a\,p\,\delta}{n\,t_0\,\varepsilon}\,\frac{(1-v)+\frac{v}{\tau}}{\tau}\,L_{0m}\,\eta_0\,\delta \quad . \; . \; (46).$$

Die Abhängigkeit des Korrekturgliedes

$$\alpha_1\,\frac{a\,p\,\delta}{n\,t_0\,\varepsilon}\left(\frac{1-v}{\tau} + \frac{v}{\tau^2}\right)L_{0m}\,\eta_0\,\delta$$

von τ zeigen die in Abb. 11 gezeichneten Kurven. An der Stelle $\tau = 0$ nähern sich alle Kurven asymptotisch der Ordinatenachse, an der Stelle $\tau = 1$ haben alle den gleichen Wert

$$\alpha_1\,\frac{a\,p\,\delta}{n\,t_0\,\varepsilon}\,L_{0m}\,\eta_0\,\delta.$$

Je größer v, desto größer wird der Wert dieses Korrekturgliedes.

Wächst das Anlagekapital rascher als die Maschinenleistung (positives α_1), so werden die Gestehungskosten ungünstig beeinflußt. Das Gegenteil tritt ein, wenn α_1 negativ ist, wenn also das Anlagekapital langsamer als die Maschinenleistung ansteigt.

In Abb. 11 ist eine den Gesamtwert von S_{k0} darstellende Kurve und die dem Korrekturglied entsprechende Kurve einmal für $\alpha_1 > 0$ und einmal für $\alpha_1 < 0$ gezeichnet. Der Einfluß des Korrekturgliedes ist ohne weiteres ersichtlich. [1948]

Windkraft.

Von P. v. d. Sterr, Frankfurt (Main).

Um für die Wirtschaftsfrage in der Ausbeutung der Windenergie eine sichere Grundlage zu gewinnen, wird ein Verfahren vorgeschlagen, aus den vorhandenen Windbeobachtungen der Observatorien eine „Unbeständigkeitsziffer" zu errechnen. Weiter wird darauf hingewiesen, daß der Wirkungsgrad der wesentlichen Bestandteile einer Windanlage eine ganz andre Rolle spielt als sonst und also andre Maschinentypen nötig sind. Bei einer netzartigen Ausbreitung einer windelektrischen Anlage wird vorgeschlagen, die Aufspeicherung und ihre Art dem einzelnen Angeschlossenen zu überlassen.

Die Windtechnik hätte schon längst eine hohe Blüte erreicht, wenn der Wind annähernd beständig wäre. Man ist jedoch über das Übel der Unbeständigkeit des Windes nicht hinausgekommen. Abgesehen von den immerhin lästigen periodischen Schwankungen in Betrieben mit kalorischen Maschinen, findet man ähnliche wirtschaftliche Schwierigkeiten auch bei Wasserkraft-Betrieben, und es ist interessant, festzustellen, wie sich hier eine spezielle Technik zur Bekämpfung des genannten Übels herausgebildet hat. Wenn man früher oder später dazu übergehen sollte, die Windkraft auszunutzen, so wird man gezwungen sein, die gleiche Frage genau so ernsthaft zu studieren, und das Ganze in allererster Linie als eine reine Wirtschaftsfrage behandeln müssen.

Hält man es für erstrebenswert, wenn die Windkraftanlagen so beschaffen sind, daß sie genau wie eine Dampfzentrale eine konstante oder eine in kurzen Perioden schwankende Arbeitsmenge abgeben können, dann ist es notwendig, zu wissen, wie groß der Arbeitspeicher sein muß, der die sehr unregelmäßige Arbeitszufuhr in eine regelmäßige Arbeitsabgabe zu verwandeln vermag. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet wird es kaum möglich sein, derartige Kraftspeicher zu bauen. Theoretisch wäre es aber von großem Wert, wenn wir ihre Größe kennten, denn sie gäbe eine ziffernmäßige Darstellung der Schwankungen in der Zufuhr der Windarbeit.

Wenn wir vor die Aufgabe gestellt sind, mit Hilfe einer Windanlage eine bestimmte Leistung dauernd liefern zu müssen, so genügt es nicht, zu wissen, wie oft im Jahre mit einer gegebenen Windstärke gerechnet werden kann, sondern es muß auch bekannt sein, mit welchem Regelmaß sie auftritt. Aber

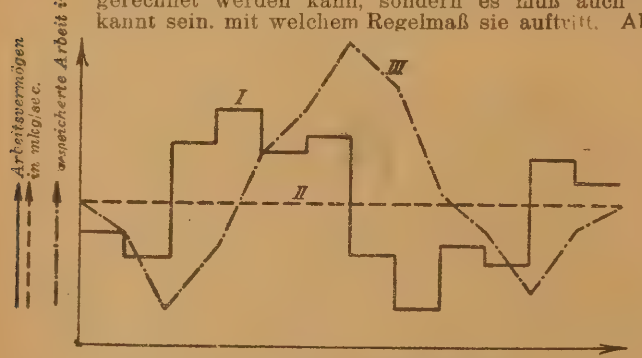


Abb. 1 Bestimmung der Unbeständigkeitsziffer.

wenn auch hierauf eine genügende Antwort gegeben werden könnte, so wäre doch der Sache nicht endgültig geholfen, denn es bliebe noch die Frage offen, wie die Ergebnisse der einzelnen Windstärken sich zueinander verhalten. Da aber die Unbeständigkeit des Windes seine schlechteste Eigenschaft und die Ursache seiner Unbrauchbarkeit für die Energiegewinnung ist, ist es für das Studium der Windkraftfrage unbedingt notwendig, daß man sie genau untersucht und, wenn möglich, zahlenmäßig festlegt.

Tragen wir unter Benutzung der gebräuchlichen Einheiten das theoretische Arbeitsvermögen des Windes nach der Zeit in Kurven, Abb. 1, auf, dann erhalten wir eine Kurve, wie sie Linie 1 beispielsweise darstellt, während Linie II der Mittelwert für den in Frage kommenden Zeitabschnitt sein mag.

Verfügen wir über einen Arbeitspeicher irgendwelcher Form, aber von genügend großem Inhalt, dann ist dieser imstande, die stoßweise Arbeitszufuhr (Kurve I) in eine regelmäßige Abgabe (Kurve II) umzuwandeln. Unter Umformung der Leistungseinheit zu einer Einheit der Energie durch Multiplikation mit der bereits angewandten Zeiteinheit gestaltet sich die Lade- und Entladekurve wie Linie III, denn die Werte, die über der Linie II liegen, sind zum Aufspeichern geeignet, während die darunter liegenden eines Zuschusses bedürfen. Da wir von dem sehr großen Arbeitspeicher nur den Teil gebraucht hätten, der zwischen dem Maximum und Minimum der Kurve III liegt, so ist hiermit das notwendige Maß des Speichers überhaupt gegeben. Je größer die Unregelmäßigkeit des Windes war, um so größer wird der Speicher im Verhältnis zu der Dauerleistung sein müssen. Wir schlagen deshalb vor, diese Verhältniszahl die Unbeständigkeitsziffer der Windenergie zu nennen.

Man möchte meinen, daß die Praxis mit den bestehenden Anlagen ziemlich genau die Größe des erforderlichen Speichers herausgefunden hat, und für rein elektrische Anlagen scheint dies auch der Fall zu sein. Leider hat sich bis vor dem Kriege gezeigt, daß diese kaum mit Dampf- oder Wasserwerken in Wettbewerb treten können, jedoch die Preissteigerung der Kohlen mag hierin eine gründliche Änderung gebracht haben. Immerhin hat die windelektrische Anlage den Beweis erbracht, daß sie daseinsberechtigt ist, und man darf deshalb mit Recht behaupten, daß jede Arbeit auf diesem Gebiet einmal Frucht tragen wird.

Vielfach wird die Bedingung gestellt, daß eine Windkraftanlage genau wie eine Dampfzentrale imstande sein soll, regelmäßig Strom an die Verbraucher abzugeben. Es ist aber nicht einzusehen, warum die Aufgabe gerade so formuliert sein soll, und nicht einfach: „Die Windkraft muß nützlich verwertet werden, gleichgültig in welcher Form". Stellt man die Aufgabe in diesem Sinne, dann bieten sich viel größere Möglichkeiten in der Art der Aufspeicherung, einmal schon dadurch, daß man die gewonnene Arbeit ohne weiteres so umwandeln kann, wie man sie gerade gebraucht, was allerdings auf eine Modernisierung der alten Müllereibetriebe hinausläuft, das andre Mal dadurch, daß die Anlage zentralenähnlich mehrere Verbraucher mit Strom versorgt, letztere aber angewiesen werden, bei gutem Winde die Arbeit in einer für sie bequemeren Form zu speichern.

Als die Windmühlen in der Industrie noch eine Rolle spielten, waren die mit ihnen betriebenen Werke nur klein, so daß es bequem möglich war, außerordentliche Maßnahmen zu treffen, z. B. durch auf Vorrat Arbeiten, um dadurch trotz der unregelmäßigen Verhältnisse eine regelmäßige Abgabe der Er-

zeugnisse zu erzielen. Dies gelang durch Überstunden und Nachtarbeit, also durch unsoziale Gewaltmittel, die uns heute nicht mehr zur Verfügung stehen, so daß sich ein ähnlicher Betrieb unter den heutigen Verhältnissen bedeutend schwieriger gestalten würde. Jedoch war es mit den alten Einrichtungen nur möglich, eine beschränkte Anzahl von Arbeitsvorgängen gleichzeitig auszuführen, während durch die heute zur Verfügung stehenden Umwandlungsmittel eine fast unbeschränkte Anzahl erzielt werden kann.

Veranlassen wir nun die angeschlossenen Verbraucher, ihren Energiebedarf nach den Windverhältnissen zu richten, z. B. dadurch, daß man den Strompreis von der Windstärke abhängig macht, dann bekommt die Speicherfrage ein ganz anderes Aussehen. Die Verbraucher werden dann selbst ein Interesse daran haben, soviel Energie wie möglich in der für sie gebräuchlichen Form aufzuspeichern, und es stehen ihnen Speicherarten zur Verfügung, die für einen Zentralenbetrieb niemals in Frage kommen können; außerdem gibt es viele Arbeiten, die an keinen bestimmten Zeitpunkt gebunden sind und die ausgeführt werden können, wenn die Windverhältnisse günstig sind. Wir kommen später bei der Besprechung des Arbeitspeichers darauf zurück.

Ein weiterer Punkt, der in der Wirtschaftsfrage eine große Rolle spielt, ist der von Preis und Wirkungsgrad der ganzen Anlage. Man muß sich vergegenwärtigen, daß ein teures und für die nur selten auftretenden Spitzenbelastungen berechnetes Maschinenmaterial meistens arbeitslos dasteht.

Es muß betont werden, daß bei der kostenlosen und in fast unbeschränkter Menge, jedoch stoßweise auftretenden Windkraft der Wirkungsgrad einer Windkraftanlage eine ganz andre Rolle spielt, als es bei andern Kraftanlagen der Fall ist. Wegen der Einfachheit mag es überflüssig erscheinen, wenn hier an die Tatsache erinnert wird, daß es bei der Beurteilung zweier Windturbinen gleichgültig ist, ob die eine den Wind besser ausnutzt als die andre. Die Verhältnisse liegen hier so, daß, wenn zwei Maschinen im Durchschnitt die gleiche Arbeit liefern, die Maschine die beste ist, deren Kosten für Anschaffung und Pflege am niedrigsten sind. Daraus geht hervor, daß der Wirkungsgrad keine Rolle spielt.

Da der Geldwert der in der Turbine verloren gegangenen Windenergie 0 ist, ist also der Wirkungsgrad als Quotient von Arbeitsabgabe und Arbeitszufuhr von gar keinem Interesse. Wir haben uns daher nur mit den Kosten der Windmaschine zu beschäftigen und nur diese in unsre Rechnung aufzunehmen. Wir beziehen sie am besten auf eine Zeiteinheit, da Kapitalverzinsung, Tilgung, Bedienung, Ausbesserungen usw. sich alle auf eine Zeiteinheit beziehen lassen. Wir führen also den Quotienten $\frac{\text{Wert}}{\text{Zeit}}$ als solche Größe ein und wollen seine Einheit mit dem Buchstaben m bezeichnen. Eine Goldmark für die Stunde wäre z. B. eine solche Einheit. — Nach dieser Rechnungsart werden die laufenden Unkosten einer Windturbine durch das Produkt $w \cdot m$ dargestellt, wo w der für die Maschine geltende Faktor ist.

Da uns die primäre Arbeitzufuhr, der Wind, nichts kostet, so ist uns der Preis der an der Achse der Turbine entnommenen Arbeit bekannt. Sie ist nämlich gleich den durch die Windmaschine verursachten einfachen Unkosten, also $w \cdot m$, und zwar ganz unabhängig davon, ob die von der Windstärke abhängige Arbeitsmenge groß oder klein ist.

Der so erhaltene Wert ist von größter Bedeutung bei der Konstruktion einer von der Turbine angetriebenen Dynamo, denn dabei darf nicht nur der Wirkungsgrad maßgebend sein, sondern es muß ein inniger Zusammenhang bestehen zwischen den Arbeitsverlusten in dem Generator selbst und den laufenden Unkosten desselben sowie dem Preis der primär zugeführten Arbeit $w \cdot m$. Dieses Verhältnis findet in der Formel

$$g\,m + (1-\eta\,g)\,w\,m \quad (1),$$

seinen Ausdruck, worin g die Kosten und η den Wirkungsgrad des Generators bedeutet, und dieser Wert muß für die zu wählende Maschine so klein wie möglich sein. Voraussichtlich wird eine nach diesen Gesichtspunkten entworfene Maschine mit einem sehr schlechten Wirkungsgrad im Vorteil gegenüber solchen mit einem guten Wirkungsgrad sein. Es ist keineswegs unmöglich, daß dies die Konstruktion ganz neuer Maschinentypen bedingt.

Ähnlich muß auch bei der Bewertung des Akkumulators verfahren werden. Für diesen gilt die Formel:

$$a\,m + (1-\eta\,a)\,(w\,m + g\,m) \quad (2),$$

deren reeller Wert so klein als möglich sein muß.

Aus diesen Überlegungen ist zu ersehen, daß es nicht richtig ist, einfach die Windmaschine an die Stelle einer kalorischen Maschine zu setzen und den Rest der Anlage unverändert zu lassen, sondern die ganze Anlage muß entsprechend eingerichtet werden; darum ist ein inniges Zusammenarbeiten zwischen Maschinenbauer, Elektroingenieur, Chemiker usw. dringend nötig.

Das Windrad.

Das Windrad hat eine sehr lange Laufbahn hinter sich und hat bewiesen, daß es ein sehr zähes Leben besitzt, doch sehr entwickelt hat es sich im Laufe der Jahre nicht. Schon dem Laien muß es auffallen, daß für die Leistung der Windräder offenbar Grenzen bestehen, die nicht überschritten werden können. Wenn auch die Windturbine im Laufe der Jahrhunderte grundlegende Änderungen erfahren hat, in ihrer Leistungen ist sie nicht größer geworden. Ältere und neuere Forscher haben ziemlich übereinstimmend festgestellt, und auch die Praxis hat es bewiesen, daß die Umfangsgeschwindigkeit des Rades nicht größer als das 2½fache der Windgeschwindigkeit sein soll. Dies ist auch die Ursache, daß die größten Windturbinen nur eine Flügeloberfläche von etwa 50 m² haben. Nicht ohne Neid betrachten wir in dieser Hinsicht einen andern Zweig der Windtechnik, nämlich die Segelschiffahrt. Wenn wir bedenken, daß Segelschiffe oft eine Segeloberfläche von etwa 5000 m² haben, so können wir nicht anders sagen, als daß die Windräder in ihrer Entwicklung noch sehr weit zurück sind. Ganz objektiv können wir uns des Zweifels nicht erwehren, ob eine turbinenartige Maschine wohl die richtige Form ist, dem Winde Arbeit zu entziehen, und ob es richtig ist, der ihrem Wesen nach so einfachen Luftbewegung eine so komplizierte Bewegungsform aufzudrängen, wie es bei der Turbine trotz der außerordentlich einfachen Konstruktion tatsächlich der Fall ist.

Wir haben vorher auseinandergesetzt, daß die Billigkeit einer Windturbine von ihren sonstigen guten Eigenschaften am meisten geschätzt werden muß, daß also der Wert $\frac{W}{\text{PS}}$ klein sein soll. Man könnte nun versuchen, durch Heraufsetzen der Leistung diesen Wert zu verkleinern, aber wir glauben, daß weder durch einfache Vergrößerung, noch durch bessere Konstruktion der Flügel, z. B. durch selbsttätige Verwindung, noch durch Verbesserung der Luftdruckverhältnisse in der Nähe der Maschine Bedeutendes erzielt werden kann. Die turbinenartige Konstruktion zieht uns Grenzen, die nicht überschritten werden können, und an welchen jeder Versuch, die Windkraft in großem Maßstab auszunutzen, scheitern muß.

Es wäre also zu überlegen, ob man nicht besser das Turbinenprinzip verläßt, wenn man aus Rentabilitätsgründen größere Einheiten bauen will. Im Laufe der Jahre hat es nicht an Versuchen gefehlt, das Windrad anders zu gestalten, und es mögen hier einige Darstellungen von Maschinen folgen (Abb. 2 bis 7), die von der normalen Konstruktion erheblich abweichen. Die meisten haben eine senkrechte Achse, und man kann daraus ableiten, daß diese Konstruktionen Unabhängigkeit von der Windrichtung bezwecken sollen, eine Eigenschaft, die uns nur dann interessiert, wenn die Maschine dadurch billiger wird. Senkrechte Achsen begrenzen aber von vornherein die Abmessungen des Rades sehr, so daß es falsch wäre, zu versuchen, auf dieser Grundlage aufzubauen. Maschinen mit senkrechter Achse haben weiter den großen Nachteil, daß man sie nicht, wie sonst, durch Abdrehen von dem Winde regulieren und abstellen kann. Diese Überlegungen, die vielleicht ein wenig zu kurz gefaßt sind, sonst aber einen zu großen Raum beanspruchen würden, zwingen uns zu der Überzeugung, daß für größere Einheiten nur Maschinen mit wagerechter Achse und mit Verzicht auf das Turbinenprinzip in Frage kommen. Dies ist ein Verzicht auf eine ganz geniale Konstruktion, die sicher ein halbes Jahrtausend und wahrscheinlich noch viel älter ist, und die wohl mit Recht als die Mutter der Luftschrauben (Meusnier 1784), der Schiffspropeller, der Wasser- und Dampfturbinen angesprochen werden kann.

Maschinen mit wagerechter Achse und feststehenden, jedoch nicht nach dem Turbinenprinzip angeordneten Flügeln sind, wenn man nicht von Windfängen Gebrauch machen will, kaum denkbar. Soll es also unser Ziel sein, die Wirtschaftlichkeit der Windanlagen durch Vergrößerung der Einheiten zu erhalten, so wäre das Nächstliegende, Maschinen mit wagerechter und quer zur Windrichtung liegender Welle zu konstruieren, die bewegliche Schuppen besitzen. Es würden also Räder nach der Jacsonschen oder Beatsonschen Art, jedoch mit liegender Achse, in Frage kommen. Es scheint uns, daß der Bau von derartigen Windmaschinen mehr auf dem Gebiete der Flugzeug- als der Maschinenindustrie liegt.

Die Dynamo.

Es ist bereits im vorstehenden erwähnt worden, daß man beim Bau einer Dynamo für Windwerke von andern Gesichtspunkten ausgehen muß als beim Bau der jetzt üblichen Maschinen. Wenn auch über die Größe derartiger Maschinen die Meinungen auseinandergehen können, obschon bestimmte Anhaltpunkte vorliegen, so herrscht doch über die Type, soweit sie sich nicht auf die Stromart oder die Schaltung bezieht, Klarheit, denn diese muß notgedrungen den in der Formel (1) zum Ausdruck gebrachten Bedingungen genügen. Um das durch Formel (1) vorgeschriebene Verhältnis zwischen Preis und Wirkungsgrad zu erzielen, wird letzterer voraussichtlich sehr klein werden, was eine große Wärmeentwicklung zur Folge haben wird, so daß die neue Maschine mit einer äußerst weit getriebenen Kühlung ausgestattet sein muß. Es ist zu erwarten, daß man beim Bau derartiger Maschinen zu Ausführungen gelangt, die man jetzt noch als gewagt und phantastisch bezeichnen wird. Wir möchten aber bei dieser Gelegenheit an die Entwicklung des Flugzeugmotors erinnern.

Die Schutzvorkehrungen solcher Maschinen müssen so beschaffen sein, daß es möglich ist, daß letztere bis zum äußersten

belastet werden können, denn nur auf diese Weise ist zu erreichen, daß der übliche und kostspielige Sicherheitsfaktor in Wegfall kommt. Eine elektrische Maschine ist betriebsmäßig in der Hauptsache zwei Gefahren ausgesetzt, und zwar erstens einer hohen, der Isolation schädlichen Erwärmung durch Überlastungen, und zweitens einer Deformation infolge auftretender Kurzschlüsse. Gegen die erste Gefahr kann man sich schützen durch Einbau von Apparaten, die auf die Erwärmung der Maschinen reagieren, gegen die zweite dadurch, daß man sehr schnell arbeitende Automaten verwendet. In bezug auf die Umdrehungszahl besteht zwischen Windmotor und Dynamo ein gewisser Widerspruch. Soll der Windmotor stets das Höchste leisten, so muß sich seine Umdrehungszahl nach dem Wind richten, und soll die Spannung der Dynamo stets konstant sein, dann muß es auch die Geschwindigkeit sein, wenn wir nicht die Maschine unnötig verteuern wollen. Es wird wohl nichts anderes übrig bleiben, als zwischen Windrad und Dynamo eine Geschwindigkeitsregulierung zu schaffen, um so mehr, als die Neuzeit es nicht an Mitteln fehlen läßt, diese Frage befriedigend zu lösen. Bei der Kostenrechnung muß die Geschwindigkeitsregulierung als ein Unterteil des Windrades angesehen werden, da dieses ohne jene nicht vollkommen wäre.

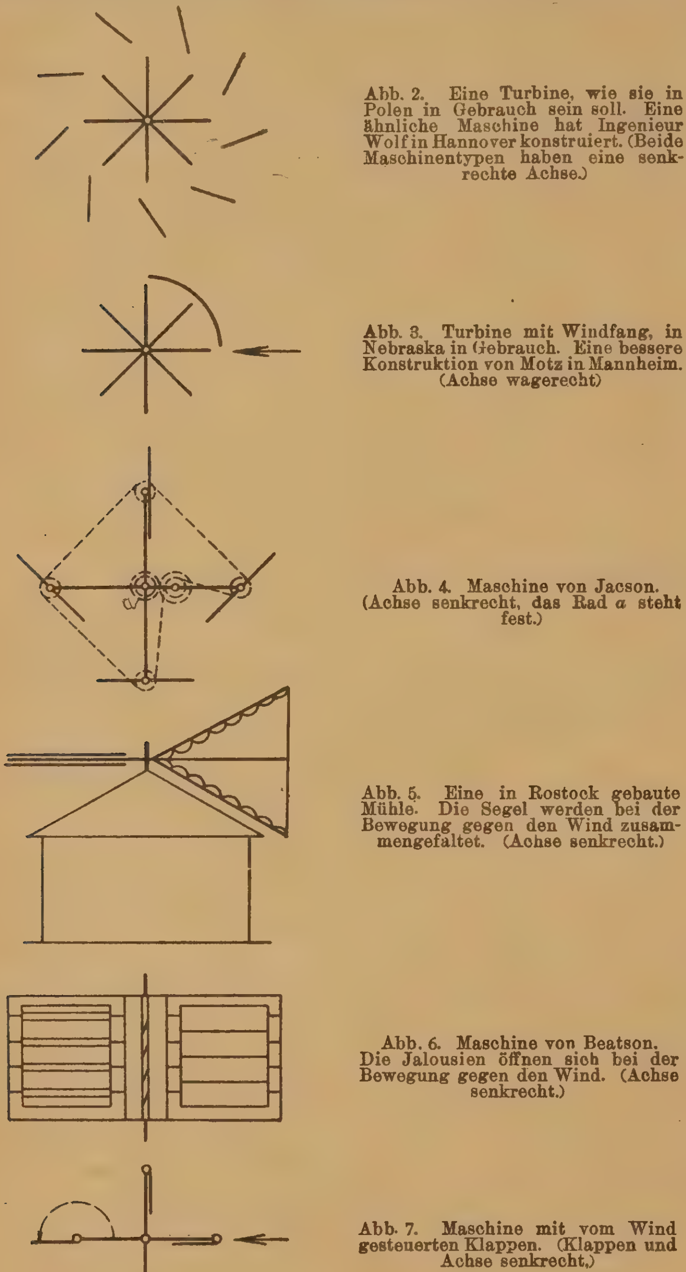


Abb. 2. Eine Turbine, wie sie in Polen in Gebrauch sein soll. Eine ähnliche Maschine hat Ingenieur Wolf in Hannover konstruiert. (Beide Maschinentypen haben eine senkrechte Achse.)

Abb. 3. Turbine mit Windfang, in Nebraska in Gebrauch. Eine bessere Konstruktion von Motz in Mannheim. (Achse wagerecht)

Abb. 4. Maschine von Jacson. (Achse senkrecht, das Rad *a* steht fest.)

Abb. 5. Eine in Rostock gebaute Mühle. Die Segel werden bei der Bewegung gegen den Wind zusammengefaltet. (Achse senkrecht.)

Abb. 6. Maschine von Beatson. Die Jalousien öffnen sich bei der Bewegung gegen den Wind. (Achse senkrecht.)

Abb. 7. Maschine mit vom Wind gesteuerten Klappen. (Klappen und Achse senkrecht.)

Der Akkumulator.

Die wichtigste Frage des Windkraftproblems ist zweifellos die der Aufspeicherung der Energie. Ja — man kann mit Recht sagen, daß die Frage die einzige ist, von deren Lösung alles abhängt. Wenn hierfür eine gute Lösung bestände, könnte man sicher sein, daß die Technik alle übrigen Schwierigkeiten überwinden würde, da diese keineswegs unüberwindlich sind. Das Studium der Aufspeicherung ist das Studium des Windkraftproblems, und darum sollte man die ganze Kraft auf diesen Punkt konzentrieren.

Unter Akkumulator versteht man gewöhnlich die elektrochemischen, die Bleiakkumulatoren. Es wäre jedoch richtig, wenn man für den vorliegenden Zweck unter den sonstigen Energiespeichern Umschau hielte. Edison hat z. B. mit seinem Eisen-Nickel-Akkumulator bewiesen, daß neben dem Bleiakkumulator auch andre elektro-chemische bestehen können, die wertvolle technische Eigenschaften besitzen und die z. B. besser den in Formel 2 festgelegten Bedingungen genügen. Aber bisher fehlte es an einem systematischen Studium der chemischen und physikalischen Arbeitspeicher, obwohl dieser Frage dieselbe Bedeutung zukommt, wie z. B. der Talsperre bei der Regulierung eines Flußlaufes. Vermutlich hat man diesen Punkt nur deswegen vernachlässigt, weil er wenig lohnversprechend schien, und weil die Windmaschinen noch sehr primitiv sind. Man kann aber auch sagen, daß letztere in ihrer Entwicklung deswegen noch sehr weit zurück sind, weil kein passender Arbeitspeicher vorhanden ist, und so wartet das eine auf das andre.

Ein ganz neuer Gesichtspunkt in der Speicherfrage entsteht, wenn der Verbraucher hierfür selbst interessiert wird, z. B. dadurch, daß der Strompreis von der Windstärke abhängig gemacht wird. Dem Verbraucher stehen zahllose Ausgleichmittel zur Verfügung, und er ist auch imstande, die Energie in der Form zu speichern, in der sie gebraucht wird. Fangen wir mit den minder schönen Mitteln an, mit den Vorräten an Brennstoff, ganz gleichgültig, ob diese in den Kellern von Privatleuten oder in den Gaskesseln der städtischen Werke angehäuft sind. Verfügt der Verbraucher über Haushaltapparate, die sowohl elektrisch als auch mit Feuer geheizt werden können, wie z. B. Kochtöpfe mit besonderem Tauchsieder oder eine Dampfheizung mit Heizwiderständen wie auch mit Feuerrost, dann ist er imstande, ohne Gefahr, Ungelegenheiten zu begegnen, die stoßweise zugeführte Windenergie nützlich zu verwerten. Dieses Mittel bedeutet zwar keine Aufspeicherung, aber man ist hiermit dem Ziel der Nutzbarmachung der Windenergie schon einen Schritt näher gekommen. Ein Ausgleichmittel nächsthöherer Ordnung ist die Aufspeicherung von fertigen und halbfertigen Waren, wie gemahlenes Korn, gedroschenes Getreide, gesägtes Holz usw., alles Materialien, die sowieso lagern müssen und wobei es nicht darauf ankommt, ob die Bearbeitung einige Tage früher oder später erfolgt.

Als Akkumulatoren erster Ordnung müssen solche bezeichnet werden, die Energie speichern und in irgendeiner Form wieder abgeben können, so z. B. Wärme- und Warmwasserspeicher, elektrische Akkumulatoren für Kraftwagen, für Motorboote und für ärztlichen Gebrauch sowie auch Wasserstoffapparate zum Schweißen usw.

Werden die Verbraucher veranlaßt, die Energie in irgendeiner Form aufzuspeichern, dann bieten sich eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die Spitzen in der Energielieferung nützlich zu verwerten. Es spielt aber auch hier die Kostenfrage eine große Rolle, denn die nötigen Apparate, die nur ab und zu im Betrieb sind, dürfen nicht zu teuer sein.

Eine schwierige Frage ist hierbei die Verrechnung des Energieverbrauchs, da der Strompreis sich mit der Windstärke ändern soll. Wenn es nicht zu kostspielig ist, könnte von einer Hilfsleitung Gebrauch gemacht werden, mittels deren eine am Zähler angebrachte Bremsspule stärker oder schwächer erregt wird. So ausgeführte Zähler sind keine Kilowattstundenzähler mehr, sondern sie geben unmittelbar den Preis der verbrauchten Energie an. Parallel zu der Bremsspule könnte ein Instrument nach Art eines Voltmessers angeschlossen werden, das den herrschenden Strompreis anzeigt.

Das Netz.

Die heutigen Windwerke sind so klein, daß von eigentlichen Netzen nicht gesprochen werden kann. So ausgedehnt wie bei Dampf- und Wasserwerken werden diese Netze auch niemals werden, denn der Wind selbst ist ein guter Verteiler der Energie. Die Frage der Zentralisation oder Dezentralisation ist rein wirtschaftlich und kann erst dann gelöst werden, wenn die Windwerke an Bedeutung gewonnen haben.

Wenn wir die Verbraucher zur Aufspeicherung der Energie mit heranziehen wollen, werden wir bei der Ausführung des Netzes auf die gleichen wirtschaftlichen Schwierigkeiten stoßen, die überall da auftreten, wo die Belastung sehr stoßweise ist. Da nun schwere Belastungen mit starkem Winde und niedrigem Strompreise zusammenfallen, spielt der erhöhte Wattverlust in der Leitung keine Rolle. Nach dieser Richtung hin würde also einer weit höheren Belastung der Leitung als üblich nichts im Wege stehen. Es wären nur die an der Verbrauchstelle auftretenden starken Spannungsschwankungen zu überwinden. Letztere sind aber für Heiz- und Kraftzwecke sowieso nicht sehr störend. [A 2030]

RUNDSCHAU.

Kraftanlagen.

Die Hochdruckdampf-Tagung des Vereines deutscher Ingenieure am 18. und 19. Januar 1924 in Berlin[1]).

In allen technischen Zweigen bringt man dem Bestreben große Beachtung entgegen, die Betriebsdrücke in den Dampfkesselanlagen wesentlich zu steigern, um dadurch an Brennstoff zu sparen; das beweist nichts so schlagend, wie die Zahl von Teilnehmern, die sich am 18. d. M. nachmittags 3 Uhr zur Eröffnung der Hochdrucktagung im Beethovensaal der Berliner Philharmonie zusammengefunden hatte. Weit über 1000 Ingenieure aus dem In- und Ausland nahmen an der Veranstaltung teil, und viele mußten sich mit Stehplätzen begnügen, da die Zahl der Sitze nicht ausreichte.

Die erste Sitzung eröffnete der Vorsitzende des Vereines deutscher Ingenieure, Geh. Baurat Prof. Dr.-Ing. G. Klingenberg, mit einer Ansprache, worin er den Fortschritt, dem die Vorträge der Tagung gewidmet sein sollten, in kurzen Zügen kennzeichnete. Durch Ausnutzung der neuesten Verbesserungen sind wir heute in der Lage, die Wirtschaftlichkeit von Dampfkraftanlagen auf eine Stufe zu heben, welche derjenigen der Dieselmaschinen ungefähr gleichkommt, und damit den Kohlenverbrauch der Dampfkraftwerke auf etwa die Hälfte des heutigen zu verringern. Die Verbesserungen, die hierzu erforderlich waren, erstrecken sich sowohl auf die Dampftechnik, als auch auf die Technik der Feuerungen. Bei den Dampfanlagen handelt es sich nicht allein darum, den Betriebsdruck zu steigern, sondern auch darum, durch Vervollkommnung der Bauart von Dampfturbinen und durch Anwendung von Zwischenüberhitzung und Anzapfdampf-Speisewasservorwärmung Bedingungen zu schaffen, welche ermöglichen, Dampf von so hohen Drücken wirtschaftlich zu verwerten. Bei der Feuerungstechnik verdanken wir namentlich den Kohlenstaubfeuerungen einen wesentlichen Fortschritt, da sie ermöglichen, minderwertigsten Brennstoff nicht allein beim Paradeversuch, sondern auch im laufenden Betriebe so wirtschaftlich wie beste Kohle zu verfeuern, ein Problem, das gerade unter den heutigen Verhältnissen ausschlaggebende Bedeutung gewinnt. Wichtig für Kraftwerke ist ferner, daß bei der Staubkohlenfeuerung alle Verluste an Brennstoff beim Abstellen und Wiederanfachen der Kesselfeuer entfallen.

Direktor Dr.-Ing. Münzinger, Berlin, behandelte sodann die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen der Erzeugung und Verwendung von Hochdruckdampf. Sein Vortrag sucht besonders die Frage zu klären, unter welchen Vorbedingungen man unter Berücksichtigung der Kohlenersparnis auf der einen und der erhöhten Aufwendungen für Bau und Verzinsung der Anlage auf der andern Seite von der Steigerung der Betriebsdrücke wirtschaftlich wichtige Ersparnisse an Gesamtbetriebskosten erhoffen kann, eine Frage, die dem Besitzer einer Kraftanlage vor allem am Herzen liegt. Das Ergebnis seiner Untersuchungen gipfelt hauptsächlich darin, daß man zwischen 15 und 100 at Betriebsdruck die Kostenfrage je nach der Art des Kraftwerkes behandeln muß. Bei einem Kraftwerk, dessen Dampf ausschließlich zur Krafterzeugung dient, gelangt man zum wirtschaftlich günstigsten Ergebnis mit einer Ersparnis von 3 bis 7 vH, wenn man den Druck auf etwa 35 bis 50 at steigert. Darüber hinaus werden namentlich die Kesseltrommeln in der Herstellung zu teuer, so daß der zu erwartende Gewinn leicht aufgezehrt wird. Der Vortragende befürwortet daher Kesselbauarten, deren Wasserräume und Dampfräume so weit beschränkt sind, wie es die Rücksicht auf Zuverlässigkeit des Kessels und Erzeugung von trockenem Dampf noch zuläßt. Liefert dagegen die Kraftanlage bei höherem Gegendruck viel Dampf für Fabrikationszwecke, wie z. B. in der chemischen Großindustrie, so kann man selbst bei einer Steigerung der Kesseldrücke auf 100 at noch immer auf 10 bis 20 vH Ersparnis an Betriebskosten rechnen. Dieses Ergebnis eröffnet somit dem Hochdruckbetrieb zunächst die besten Aussichten bei den vereinigten Heiz- und Kraftanlagen mit Gegendruckbetrieb; aber auch bei reinen Kraftwerken kann man durch eine mäßige Drucksteigerung bis zu 25 vH des Wärmewertes der verbrauchten Brennstoffe ersparen, wenn man Zwischenüberhitzung und abgestufte Speisewasservorwärmung mit Anzapfdampf verwendet. In dieser Weise dürften die Kraftwerke der nächsten Zukunft ausgeführt werden, wenn man auch Dampfspeicher im Gebiet der niedrigeren Drücke, Kohlenstaubfeuerungen und Luftvorwärmung hinzufügt.

Die nächsten Vorträge von Prof. Dr. Goerens, Essen, und Direktor Loch, Düsseldorf, behandelten die Baustoffe und die Herstellung von Dampfkesseln mit Rücksicht auf die Verwendung hoher Betriebsdrücke. Der Vortrag von Goerens betont namentlich die Vorteile, die man durch den Übergang zum legierten Stahl als Kesselbaustoff erzielen kann, der wegen seiner höheren Festigkeit ermöglicht, die Kesseltrommeln aus dünneren Blechen herzustellen, welche sich leichter bearbeiten lassen. Außerdem sind aber die Nickelstähle von 3 und 5 vH Nickelgehalt dem heute durch das Gesetz vorgeschriebenen Flußeisen deshalb überlegen, weil sie, wenn der Kessel höheren Temperaturen ausgesetzt wird, keine solche Abnahme an Festigkeit und namentlich keine solche Erhöhung der Sprödigkeit wie das Flußeisen aufweisen, welche die Betriebsicherheit der Dampfkessel besonders gefährden kann. Kesseltrommeln für hohe Drücke empfiehlt der Vortragende aus einem einzigen geschmiedeten oder gewalzten Stück herzustellen, das man vor der Ablieferung der geeigneten Wasserbehandlung unterwerfen kann, so daß es in allen Teilen die verlangten Festigkeitseigenschaften hat.

Der Vortrag von Loch führte die Zuhörer an der Hand zahlreicher Lichtbilder durch den Arbeitsgang einer neuzeitlichen Kesselfabrik und zeigte namentlich, wie man heute durch besondere Überwachung der Temperatur beim Anwärmen der Bleche sowie der Arbeitsdrücke beim Nieten der Dampfkessel vermeidet, daß der Kesselbaustoff während der Verarbeitung verschlechtert oder beschädigt werden kann. Zwei Filme aus den Kesselbauwerkstätten der Firmen Borsig und Dürr ergänzten die Ausführungen dieses Vortrages.

Am zweiten Tag leitete der Vorsitzende die Sitzung gleichfalls mit einer kurzen Ansprache ein. Er regte an, den Konstrukteuren und den Fabriken die große Vorarbeit, die bis zur praktischen Verwirklichung des Hochdruckbetriebes geleistet werden muß, dadurch zu erleichtern, daß man als Ergebnis der Hochdrucktagung eine erste vorläufige Grenze für die Drucksteigerung, z. B. 35 at, und gewisse Normen für die Kesselgrößen festsetzt. Das Nähere über solche Vorschläge könnte man im Ausschuß für Dampfkesselwesen beraten, der seit einiger Zeit beim Verein deutscher Ingenieure tätig ist.

Dr.-Ing. M. Guilleaume, Merseburg, berichtete hierauf über sehr bemerkenswerte und auch für den Hochdruckbetrieb wichtige Erfahrungen aus dem Betriebe von Dampfkesselanlagen auf Grund von Versuchen, welche die im Jahre 1920 begründete Vereinigung von Großkesselbesitzern eingeleitet hatte, um die Betriebsicherheit der großen Dampfkesselanlagen zu fördern. Diese Versuche zeigen, daß bei der Prüfung der Kesselbleche große Sorgfalt erforderlich ist, wenn dem Konstrukteur Gewißheit geboten werden soll, daß das Blech in allen seinen Teilen die bei der Prüfung festgestellten Eigenschaften aufweist, und daß auch bei der Verarbeitung der Bleche bis zum fertigen Kessel, namentlich durch zu hohen Nietdruck für die Betriebsicherheit wesentlichen Blecheigenschaften beeinträchtigt werden können. Besonders wertvoll sind ferner die mittels ganz neuartiger Meßeinrichtungen aufgezeichneten Beobachtungen über Formänderungen, welche der fertige Kessel im Betrieb infolge von Änderungen der Temperatur und des Druckes in seinem Innern erfährt, und da solche Änderungen im Betriebe infolge der Schwankungen der Belastung niemals ganz vermieden werden können, ist es dringend notwendig, die Kessel so zu bauen, daß sie genügend nachgiebig sind, und daß durch die erwähnten Formänderungen nirgends unzulässige Spannungserhöhungen auftreten. Daneben muß man sich natürlich auch bestreben, solche Einflüsse durch Gleichhalten von Belastung und Speisung der Kessel möglichst zu vermeiden. Auch über den Wasserumlauf in Dampfkesseln sind neue wertvolle Beobachtungen und Messungen ausgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Versuche sind um so wichtiger, als man heute darangeht, Kessel von wesentlich höheren Drücken als den heute üblichen in Betrieb zu setzen.

Als letzter behandelte Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Josse, Charlottenburg, die Eigenschaften und die Verwendung von Hoch- und Höchstdruckdampf. Theoretisch könne man, so sagte etwa der Vortragende, bei einer Steigerung des Betriebsdruckes von 20 auf 100 at zwar damit rechnen, daß sich nach den neuesten Angaben über die Eigenschaften des Wasserdampfes die in 1 kg Dampf verfügbare Nutzarbeit je nach der Höhe des Gegendruckes um 15 bis 83 vH erhöht. Will man jedoch diese Erkenntnis auf die wirkliche Maschine, die Dampfmaschine oder die Dampfturbine, anwenden, so muß man zweierlei beachten: erstens wird hochgespannter Dampf bei der Expansion viel schneller naß, weil man aus Rücksicht auf die Betriebsicherheit die Überhitzung nicht über eine gewisse Höchsttemperatur steigern darf, zweitens wird die Arbeit, die vom Dampf im Gebiet des Überdruckes zu leisten ist, um so größer, je höher man den Anfangsdruck macht.

Das erste Merkmal zwingt dazu, den Dampf im Verlauf der Expansion bis auf den Gegendruck mehrfach zu trocknen, weil sonst das mitgeführte Wasser den thermodynamischen Wirkungsgrad verschlechtert; das zweite Merkmal hat namentlich bei Dampfturbinen große Bedeutung erlangt, deren bisherige Bauarten im Gegensatz zu Kolbendampfmaschinen nicht geeignet waren, den Dampf im Gebiet hoher Drücke besonders wirtschaftlich auszunützen. In der Tat hat erst die neuere Technik des Hochdruckdampfes den Anstoß dazu gegeben, besondere Bauarten von Dampfturbinen auszubilden, die auch Dampf von hohem Druck wirtschaftlich verwerten können, und in diesen Dampfturbinen, die auch schon bei den heutigen Betriebsdrücken günstige Ergebnisse liefern, kann man gewissermaßen die ersten praktisch greifbaren Ergebnisse der neueren Hochdruckbestrebungen erblicken. Mehrere Fabriken befassen sich heute bereits mit dem Bau solcher Hochdruckturbinen, und bei einer Turbine dieser Art, die von der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft herrührt, haben sehr eingehende Untersuchungen einen bei Dampfturbinen bisher für unerreichbar gehaltenen Wirkungsgrad von über 80 vH ergeben.

An die Vorträge schloß sich eine mehrstündige Aussprache, auf deren zum Teil bemerkenswerten Inhalt an dieser Stelle leider nicht eingegangen werden kann. Es ist aber in Aussicht genommen, den Inhalt dieser Mitteilungen zusammen mit den Vorträgen und mehreren andern einschlägigen Aufsätzen in einem Sonderheft „Hochdruckdampf" zu veröffentlichen, das demnächst im Verlag des Vereines deutscher Ingenieure herausgegeben wird.

Der Verlauf der Tagung darf auch mit Bezug auf die wissenschaftliche Ausbeute, die sie geliefert hat, als recht gut gelungen bezeichnet

[1]) Wir beschränken uns an dieser Stelle auf einen kurzen Bericht über den Verlauf der Tagung und verweisen namentlich darauf, daß in Nr. 4 und 5 der VDI-Nachrichten die Ansprachen des Vorsitzenden sowie Auszüge aus den Vorträgen sehr ausführlich mitgeteilt sind.

werden, und es ist daher nicht überraschend, daß von mehreren Seiten der Wunsch laut wurde, die Aussprache über das Thema Hochdruckdampf recht bald zu wiederholen. Besonders herzliche Aufnahme fand bei den Anwesenden das Schlußwort des Vorsitzenden, worin er ersuchte, den unerschrockenen Erfindergeist Wilhelm Schmidts, des Pioniers auf dem Gebiete des Hochdruckdampfes, zu ehren, in dessen Sinne die ganze Tagung abgehalten worden sei.

[R 67] Dr. techn. A. Heller.

Neue Hochdruck-Dampfkraftanlage.

Berichtigung. In Nr. 52 Bd. 67 (1923) S. 1166 muß es am Schluß des letzten Absatzes heißen: Damit kein vorzeitiges Verdampfen des Wassers eintritt, muß der Druck mindestens 225 at betragen. [M 39]

Wirkungsgrad-Meßvorrichtung.

Zwecks selbsttätiger Anzeige des Kohlenverbrauchs in Kraftwerken für jede erzeugte Kilowattstunde wird in England neuerdings ein elektrisches Meßgerät von Gilson verwendet. Ein solches im Uxbridge-Kraftwerk aufgestelltes Instrument beruht, wie aus Abb. 1 hervorgeht, auf der Gegenwirkung der Stromstärke in zwei Transformatorwicklungen *a* und *b*, von denen die eine der Leistung des Werkes entspricht, die andre im umgekehrten Verhältnis zum Kohlenverbrauch der mechanischen Kettenrostfeuerung steht. Ändert sich eine dieser Größen, so wird sich der Zeiger bei *c* in einem oder dem andern Sinne bewegen. Der Kohlenverbrauch entspricht hierbei fast genau dem Produkt aus der Rostgeschwindigkeit und der Höhe der Feuertüröffnung; je nach der Größe der Öffnung werden Widerstände mittels des Schalters *d* selbsttätig in den Stromkreis eingeschaltet. Der Laststromkreis wird an die Sammelschienen des Kraftwerkes bei *e* bzw. *a* angeschlossen und gleichzeitig ein Wählschalter *f* mit Hilfe des Wechselgetriebes der Feuerungsanlage betätigt. Bei Stillstand der Feuerung wird der Schalter *d* selbsttätig ausgeschaltet. Im Betriebe werden die vier Widerstände, deren Schalthebel mit der Feuertür in starrer Verbindung stehen, gleichzeitig eingeschaltet; durch den Wählschalter *f* wird jedoch jeweils nur ein Widerstand, entsprechend den Stellungen 1 bis 4, eingeschaltet.

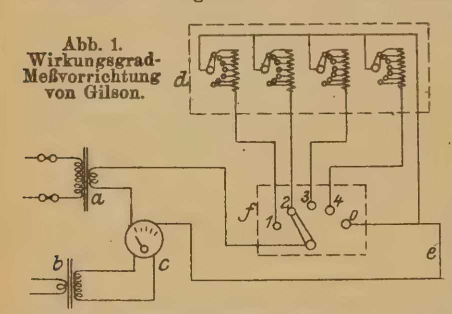


Abb. 1. Wirkungsgrad-Meßvorrichtung von Gilson.

Während die Stromstärke in der einen Spule in Phase mit der Spannung (entsprechend dem Kohlenverbrauch) steht, ändert sich der Strom in der zweiten Spule mit der Betriebsstromstärke, so daß bei allen Werten des Leistungsfaktors der Kohlenverbrauch für 1 kWh unmittelbar abgelesen werden kann. Bei gleichbleibender Belastung und Feuerung zeigt das Meßgerät den Wirkungsgrad mit großer Genauigkeit an. Bei jeder Änderung der Rostgeschwindigkeit und Dicke der Kohlenschicht wird, entsprechend der Belastungsänderung, der Zeiger der Meßvorrichtung die Änderung des Kohlenverbrauchs und somit den Wirkungsgrad der Verbrennung selbsttätig anzeigen. („Engineering" vom 2. Nov. 1923 Bd. 116 S. 559) [R 5] Rb.

Geplante Großkraftübertragung in Skandinavien.

Eine gemeinsame Kommission der drei nordischen Staaten hat den großzügigen Plan einer allgemeinen Versorgung insbesondere Dänemarks durch die großen Wasserfälle Norwegens und Schwedens eingehend untersucht[1]). Es kommen zwei Lösungen in Betracht, von denen eine mit kürzerer Fernleitung durch Gleichstromunterseekabel von Kristiansand in Norwegen auf dem Seewege durch das Skagerrak nach Jütland, die andre auf dem längeren Landwege über Schweden und die Sundinseln mittels Drehstrom-Fernleitung nach Kopenhagen führt. Der Übertragung durch das Skagerrak soll ein 130 km langes doppeltes 110 kV-Gleichstromkabel dienen, das als Dreileiterlinie mit der Erde als gemeinsamer Rückleitung betrieben werden kann. Es wird von zwei Sätzen zu je acht nach Thury hintereinandergeschalteten Gleichstromerzeugern gespeist; die Stromerzeuger erhalten je zwei 7000 V-Anker für 250 A gleichbleibende Stromstärke. Der Strom wird in Jütland von einer gleichen Zahl Reihenschlußmotoren aufgenommen, die wiederum mit Synchrondynamos gekuppelt sind, deren Spannung durch Transformatoren auf 50 000 V erhöht und weiter verteilt wird.

Die zweite Lösung, mit Drehstromübertragung, sieht eine 132 kV-Weitspannanlage von 650 km Gesamtlänge vor, wobei der Sund von Helsingborg aus durch Maste von 214 m Höhe bei 2×2460 m Spannweite sowie 48,5 und 65 m Pfeilhöhe überbrückt wird; die Leitung soll aus Stahlaluminiumseilen von 240 mm² Stahl- und 110 mm² Aluminiumquerschnitt bestehen. Die Maste sind in Betonsockeln von $60 \times 30 \times 16 =$ 28 100 m³ Rauminhalt zu gründen. Für die Überquerung sind mit Rücksicht auf die hohe Spannweite nur 50 000 V Spannung gewählt, wobei zunächst nur 63 000 kW an einfachen Mastreihen mit 3 (oder 4) Leitern, später bis zu 150 000 kW an zwei oder drei starr verbundenen Mastreihen mit 6 oder 8 Seilen übertragen werden sollen.

Die Kosten der Übertragungsanlagen betragen 10,5 bzw. 12,2 Mill. $ und sollen einschließlich 10 vH Verzinsung und Abschreibung die jetzigen Energiekosten in Dänemark von 48 bis 53 $/kW-Jahr noch nicht erreichen lassen. Die Kosten der Leitungsanlage betragen bei Wahl von Kupferleitern von 3×120 mm² Querschnitt rd. 14 000 $/km oder bei 220 kV-Stahlaluminiumseilen von $400 + 90$ mm² 20 000 $/km. Die Kabelübertragung durch das Skagerrak stellt wohl die billigere Lösung dar, ist jedoch praktisch noch nicht erprobt. [M 31] Rb.

[1]) El. World Bd. 82 vom 10. Nov. 1923.

Werkzeuge.

Ein neuer Messerkopf zum Ausschneiden von Löchern für Siederohre.

Abb. 2 zeigt ein neues von R. Stock & Co. in Berlin-Marienfelde hergestelltes Werkzeug zum Ausschneiden von Siederohrlöchern, das wesentliche Vorzüge aufweist und Arbeitzeit und Werkstoff erspart. Besonders treten die Vorzüge in Erscheinung beim Ausschneiden von Löchern in der kupfernen Feuerbüchse. Bisher gebrauchte man dazu drei verschiedene Werkzeuge. Zuerst wurde ein zentrisches Führungsloch vorgebohrt, dann das Loch mittels Spiralbohrers oder besonderer Messer auf den endgültigen Durchmesser aufgebohrt, und zum Schluß wurden mit einem besonderen Fräser die Kanten weggefräst. Bei dem Bohren der Löcher ging in der Regel viel wertvolles Material verloren, da die ganze Kreisfläche zerspant wurde. Die Werkzeuge waren meistens schwer und unhandlich oder für schnellen Schnitt sehr wenig geeignet.

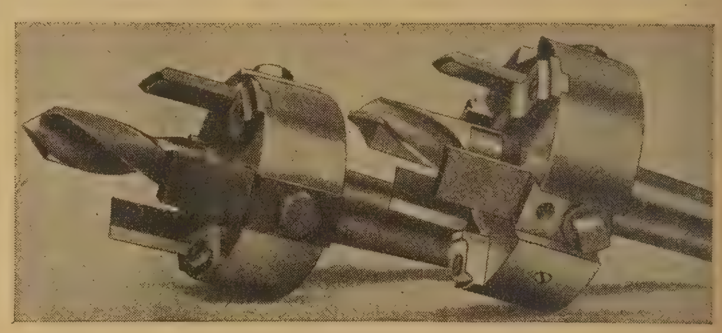


Abb. 2. Messerkopf, Kappenhagen.

Der neue Messerkopf vereinigt in sich Vorbohrer, Ausschneider und Fräser. Alle diese Einzelteile werden für den besonderen Zweck und für jeden bestimmten Durchmesser besonders angefertigt. Sie ergeben einen freien Schnitt durch ihre feste Anordnung, genaue Arbeit und vermeiden fast jeden Werkstoffverlust, da die Lochflächen nicht zerspant, sondern in ganzen Ringen herausgeschnitten werden. Versuche mit diesem neuen Messerkopf in deutschen und österreichischen Eisenbahn-Ausbesserungswerken haben Leistungen ergeben, die die der besten bisher benutzten Werkzeuge um etwa das zehnfache übertrafen. Der Messerkopf links in Abb. 2 ist mit einem Satz Messer und Fräser für einen bestimmten Durchmesser versehen, während der Messerkopf rechts für zwei verschiedene Bohrdurchmesser zu benutzen ist. Nach Herausnahme der inneren Messer wird ein geeigneter Satz Messer für den größeren Durchmesser von außen in den Körper des Messerkopfes eingesetzt. [R 2095] Wi.

Materialprüfung.

Ergebnisse von Härteuntersuchungen von Ventilplatten.

Eine größere Zahl von Ventilplatten wiesen Bruchränder auf, die auf Dauerbrüche schließen ließen. In Abb. 3 sind zwei solche Ventilplatten eines Kompressors dargestellt, die die Brucherscheinungen erkennen lassen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß einzelne Sorten von Chromnickelstahl in vergütetem Zustande für solche Ventilplatten hervorragend geeignet waren, andre dagegen, besonders solche aus gewöhnlichem Werkzeugstahl, schon nach kurzer Zeit zerbrachen. Dem Entgegenkommen der Maschinenfabrik A. Freundlich in Düsseldorf verdanke ich die Überlassung einer Reihe von Ventilplatten, die auf dem Versuchstand dieser Firma einem längeren Probebetrieb unterzogen worden waren. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden angestellt, weil ich hoffte, mit Hilfe von Härteprüfung Aufklärung schaffen zu können.



Abb. 3. Zu weiche Ventilplatten mit Dauerbrüchen.

Gut geeignet waren Chromnickelstahl-Platten mit 68 bis 77 ° Shore- und 370 bis 458 Brinellhärte (ermittelt mit einer 2½ mm-Kugel unter 100 kg Belastung). Auch Platten aus schwedischem Werkzeugstahl waren

brauchbar, wenn ihre Härte 76° nach Shore und 480 nach Brinell nicht überschritt. Bemerkenswert ist, daß sich härtere wie auch weichere Ventilplatten im Betriebe nicht bewährten. Die Härten über 80° nach Shore oder über 480 nach Brinell waren offenbar nur bei zu sprödem Werkstoff vorhanden. Die Ventilplatten mit 64° Shorehärte, entsprechend einer Brinellhärtezahl von etwa 265, dürften zu weich gewesen sein, da sie sich ungünstig verhielten. Ebenso waren zwei Platten aus nichtrostendem V2A-Stahl zu weich; denn ihre Shorehärtegrade betrugen nur 46 bis 48, die Brinellhärten 164 bis 177. Andre gebrochene Ventilplatten ohne nähere Angaben waren offenbar auch zu weich gewesen; ihre Härte betrug nur 56 bis 63° nach Shore und 290 bis 320 nach Brinell.

Die meisten der untersuchten Ventilplatten hatten 113 mm Außen- und 73,5 mm Innendurchmesser, bei 1,5 bis 2,5 mm Dicke. Aus obigen Härteuntersuchungen dürfte hervorgehen, daß die Ventilplatten für Kompressoren eine Härte von etwa 65 bis 78° Shore- oder von mindestens 370, höchstens 450 Brinellgraden haben sollen, um den Dauerbeanspruchungen des Betriebes standzuhalten. Dieses Ergebnis stimmt mit den Festigkeitswerten gut überein, die W. Müller und H. Leber[1]) in ihrer Untersuchung über die Ermüdung geglühter und vergüteter Kohlenstähle gefunden haben. [R 2040] M. v. Schwarz.

Baukonstruktionen.

Einfache eiserne Dachkonstruktionen für Industriebauten.

Die Hauptvorzüge der im folgenden beschriebenen eisernen Dachträger für Industriebauten wie überhaupt für große Räume jeder Art sind: 1. geringe Kosten infolge der günstigen Baustoffausnutzung bei einfacher Herstellung und 2. größtmögliche Dauerhaftigkeit, da die Stabquerschnitte keine Schlitze haben, so daß die Unterhaltungsanstriche überall bequem ausgeführt werden können. Zur Erreichung vorstehender Eigenschaften wird der Obergurt stetig gekrümmt und der Untergurt gerade angeordnet. Die Gurtquerschnitte werden aus Z-Eisen und die Wandglieder aus Winkeleisen hergestellt. Bei voller Belastung erhalten die Gurtungen nur Längskräfte; die spannungslosen Wandglieder dienen hierbei zur Aussteifung, erhalten aber bei einseitiger Belastung verhältnismäßig geringe Spannkräfte.

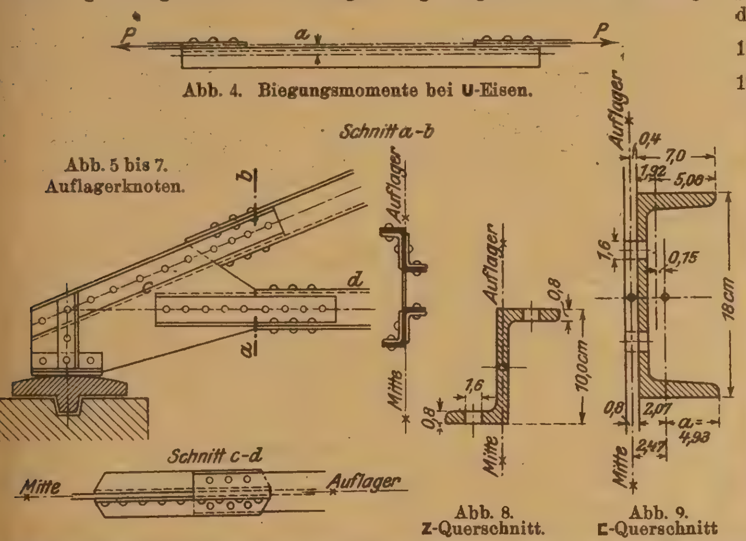


Abb. 4. Biegungsmomente bei U-Eisen.

Abb. 5 bis 7. Auflagerknoten.

Abb. 8. Z-Querschnitt.

Abb. 9. ⊏-Querschnitt

Bei der bisher bekannten Dachträgerform, bei der man die vorstehend angegebenen Eigenschaften zu erreichen suchte[1]) und die auch praktische Bedeutung erlangt hat, sind die Gurtungen aus U-Eisen hergestellt. Die U-Eisen wurden an den Auflagern durch an die Stege genietete Bleche miteinander verbunden, Da aber die Schwerlinien der U-Eisen nicht mit den Knotenblech- und den Auflagermitten zusammenfielen, so waren die U-Eisen außer durch Längskräfte noch erheblichen Biegungsmomenten ausgesetzt, nämlich: $M = P \cdot a$, Abb. 4. Hierzu treten noch besondere Beanspruchungen, die aus der Nichtzusammenführung der Gurtschwerlinien mit den Auflagerlotrechten in der Bildfläche herrühren.

Die neue Bauweise schließt diesen Nachteil nun vollständig aus. Die Schwerlinien der Z-Eisen sowie die Knotenblech- und die Auflagermitte liegen hier in einer Geraden. Die Gurt-Z-Eisen sind vor dem Knotenblech abgeschnitten und mit diesem durch zwei Winkeleisen verbunden. In wagerechter Richtung können somit keine Biegungsmomente auftreten, Abb. 5 bis 7.

Wie aus folgender Vergleichsrechnung hervorgeht, wird bei der neuen Ausführung, gleiche Grundlagen vorausgesetzt, eine Gewichtersparnis von rd. 50 vH erreicht. Die Spannkraft in einem Gurtstab sei 14 330 kg. Verwendet man zu ihrer Aufnahme Z NP 10, so beträgt der Querschnitt nach Abzug der Nietlöcher $F = 14{,}5 - 2 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 = 11{,}94$ cm². Das Z-Eisen erhält eine Beanspruchung von $\frac{14\,330}{11{,}94} = 1200$ kg/cm², Abb. 8. Wählt man dagegen bei der alten Konstruktion ein U-Eisen NP 18, Abb. 9, so ist der Querschnitt: $F = 28 - 2 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 = 25{,}44$ cm². Unter Berücksichtigung der Nietlöcher ist der Schwerpunktabstand $a = (28 \cdot 5{,}08 - 2 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 6{,}6)\frac{1}{25{,}44} = 4{,}93$ cm, $J = 114 + 28 \cdot 0{,}15^2 - 2 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 0{,}8^3}{12} - 2 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}67^2 = 107{,}35$ cm⁴,

$w = \frac{107{,}35}{2{,}07} = 52{,}0$ cm³; das Biegungsmoment beträgt $M = 14\,330 \cdot 2{,}47 = 35\,400$ cmkg und die Baustoffbeanspruchung $\sigma = \frac{14\,330}{25{,}44} + \frac{35\,400}{52} = 1245$ kg/cm².

Man sieht hieraus, daß unter gleichen Voraussetzungen ⊏NP18 noch nicht ganz dasselbe bietet wie Z NP 10. Nun wiegt aber das gewählte Z-Eisen 11,38 kg/m und das U-Eisen 21,98 kg/m, man wird somit bei Ausführung mit Z-Eisen 10,6 kg/m oder 50 vH sparen.



Abb. 10. Werkstattgebäude.

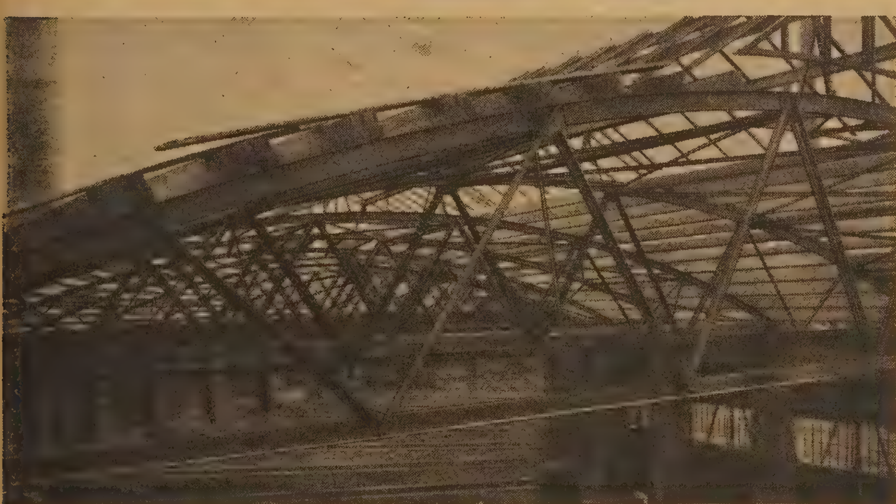


Abb. 11. Lokomotivschuppen.

Als Dachdeckung kann Holzschalung, Eisenbeton oder dergl. benutzt werden, auch lassen sich längs- oder querlaufende Oberlichter und Lüftungshauben ohne weiteres anordnen. Abb. 10 stellt die Ausführung eines zweischiffigen Werkstattgebäudes und Abb. 11 einen Lokomotivschuppen dar. [R 1908]

Hannover-Kleefeld. H. Langert, Zivilingenieur.

[1]) Z. Bd. 66 (1922) S. 543.

[1]) Z. Bd. 46 (1902) S. 1862 Abb. 226.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Lehrbuch der Chemischen Technologie des Papiers von Prof. Dr. B. Possanner von Ehrenthal. Leipzig 1923, Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 235 S. mit 42 Abb. u. Taf.

Der Verfasser hat im vorliegenden Werk seine Vorlesungen am Polytechnikum Cöthen als Lehrbuch zusammengefaßt, um seinen Schülern eine Erleichterung beim Studium zu bieten. Diesen Zweck erfüllt das Werkchen in bester Weise. Übersichtlich und verständlich sind die Rohstoffe und Hilfsstoffe behandelt und die Verfahren für die Herstellung der Rohstoffe, Halbstoffe und Ganzstoffe des Papiers geschildert. Der Verfasser beschränkt sich dabei auf sein gestecktes Ziel, indem er auf die handwerkmäßige Papiermacherei und die physikalischen Vorgänge dabei nur insoweit eingeht, als zum Verständnis der chemischen Vorgänge bei der Herstellung des Papiers und seiner Rohstoffe unbedingt nötig ist. Die Abhandlungen erstrecken sich auch auf die wichtigen Ablaugen- und Abwässerfragen und behandeln in einem Anhang Papier- und Papierstoff-Spezialitäten.

Das Buch kommt in bester Ausstattung heraus und ist auf gutem Papier gedruckt. Den Wunsch des Verfassers, auch über den Kreis seiner Schüler hinaus den Fachgenossen etwas zu bieten, erfüllt es aber nicht. Vielleicht ließe es sich bei einer Neuausgabe in ein „Handbuch" der Chemischen Technologie des Papiers umwandeln. Es würde damit einen fühlbaren Bedarf in Papiermacherkreisen befriedigen; ist doch die Papiermacherbibel, Carl Hofmanns „Handbuch der Papierfabrikation" nun allmählich im Laufe der Jahre recht erneuerungsbedürftig geworden.

Um diesem Mangel abzuhelfen, bedürfte das vorliegende Werk umfassender und eingehender Ergänzungen. Ausführliche Kritik der angezogenen Literatur, gründliche Beschreibung aller vorkommenden Apparaturen, soweit sie chemischen Vorgängen dienen, besonders auch Mitteilungen über Herkommen und Herstellung der notwendigen Chemikalien und erschöpfende Schilderung der Herstellungsverfahren in chemischer Hinsicht aller wichtigsten Papiersorten und Spezialitäten sind die Erfordernisse.

Auch die Fragen der Papierveränderung nach der Herstellung durch die mannigfaltigen Einflüsse bei Lagerung und Verwendung gehören dann mit herein.

Wenn sich der Verfasser dieser Aufgabe widmet, dürfte ihm ein großer Erfolg sicher sein. [B 2111] M. Georg Schwalbe.

Chemiebüchlein des Glasschmelzers. Von E. Zschimmer. Jena 1923, Thüringer Verlagsanstalt u. Druckerei. 86 S. Preis Gm. 2.

Wer je Einblick in die ars vitriaria genommen hat, weiß, wie geheimnisvoll Gemengesätze ausgetauscht und angefertigt werden. Das Wesen der „deutschen Glasmacherzunft", der die anregende Schrift gewidmet ist, kennzeichnet sich dadurch. Der als Forscher auf dem Gebiete der Glaschemie bekannte Verfasser will räumen mit dem alten empirischen Rezeptenhandel und der Chemie als Schlüssel zur Erkenntnis Eingang verschaffen. Elementar stellt er die Grundbegriffe zusammen und gliedert sie zum Gebrauch für solche Betriebsleute, denen chemische Wissenschaft und ihre Anwendung auf die Praxis fremd ist. In dieser Absicht kann das Buch seinen wohlgemeinten Zweck erfüllen. [B 55] H. M.

Leitfaden für den Unterricht in Stein-, Holz- und Eisenkonstruktionen an maschinentechnischen Fachschulen. Von Prof. Dipl.-Ing. L. Geusen. 2. Aufl. 61 S. mit 173 Abb. Berlin 1923, Julius Springer. Preis Gm. 2,40.

Deutsches Kranbuch. Im Auftrage des Deutschen Kran-Verbandes (e. V.) bearbeitet von A. Meves. Berlin 1923. 101 S. Preis Gm. 2, geb. 3.

Bericht über Vorführung und Prüfung neuer Mastkonstruktionen. Freiburg 1922, Gebr. Himmelsbach Akt.-Ges.

Lehrbuch der Eisenhüttenkunde. Von Dr.-Ing. e. h. Osann. 2. Aufl. Leipzig 1923, Wilhelm Engelmann. 923 S. mit 535 Abb. und 21 Tafelfiguren. Preis geh. Gz. 29, geb. 32.

Bibliothek d. ges. Technik Bd. 300: **Die autogene Schweißung.** Von P. Seifert. Leipzig 1923, Jänecke. 177 S. Preis Gm. 1,20.

Bibliothek d. ges. Technik Bd. 301: **Die elektrischen Schweißverfahren.** Von P. Seifert. Leipzig 1913, Jänecke. 177 S. Preis Gm. 1,20.

Der Ruths-Wärmespeicher. Vortrag von Oberingenieur Englert d. Maschf. Augsburg-Nürnberg A.-G. im Fränk.-Oberpf. B.-V. Nürnberg am 3. Februar 1923.

Verbrennungslehre und Feuerungstechnik. 2. Aufl. Von Obering. Fr. Seufert. Berlin 1923, Julius Springer. 128 S. mit 19 Abb. und 15 Zahlentafeln. Preis Gm. 2,60.

Verschleierung der Angaben von Elektrizitätszählern und Abhilfe. Von Dr.-Ing. A. Geldermann. Berlin 1923, Julius Springer. 126 S. mit 109 Abb. Preis geb. Gm. 6.

Elektronen- und Jonen-Ströme. Von Dr. J. Zenneck. Berlin 1923, Julius Springer. 48 S. mit 41 Abb. Preis Gm. 1,50.

Der Elektronenstrom im Hochvakuum — Ionenströme in Gasen — Der Lichtbogen.

Elektrische Temperatur-Meßgeräte. Von Dr.-Ing. G. Keinath. München und Berlin 1923, R. Oldenbourg. 275 S. mit 219 Abb. Preis Gm. 10,80, geb. 12.

Der Radio-Amateur. Von Dr. P. Lertes. Dresden und Leipzig 1924, Th. Steinkopff. 216 S. mit 114 Abb. und 2 Taf. Preis Gm. 6, geb. 7,50.

Radio im Heim. Anleitung zum Betrieb einer eigenen Radiostation. Von O. Kappelmayer. Berlin 1923, August Scherl, G. m. b. H. 120 S. mit 30 Fig. u. 20 Abb. Preis Gm. 1,75.

Sammlung Göschen, Bd. 873. **Bildtelegraphie.** Von Dr. A. Korn. Berlin 1923, Walter de Gruyter & Co. 146 S. mit 41 Abb. und 8 Taf. Preis Gm. 1.

Die Methoden der organischen Chemie, 3. Bd. Von Prof. Dr. J. Houben. Leipzig 1923, Georg Thieme. 1117 S. mit 35 Abb.

Kurzes Lehrbuch der Chemie in Natur und Wirtschaft. Von Prof. C. Oppenheimer. Leipzig 1923, Georg Thieme. 862 S. Preis geh. Gz. 25, geb. 29.

Die Praxis des Eisenhüttenchemikers. Von Dr. C. Krug. 2. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 200 S. mit 29 Abb. Preis Gm. 6, geb. 7.

Die Untersuchung der Erze und Zuschläge — Untersuchung des Roheisens und des schmiedbaren Eisens, der Eisenlegierungen, der legierten Stähle und der Schlacken — Bereitung und Titerstellung der Lösungen.

Il processo Krupp davanti al consiglio di guerra francese. München 1923. Süddeutsche Monatshefte G. m. b. H. 70 S.

Die Badische Anilin- und Sodafabrik. Selbstverlag. 237 S. mit vielen Abb.

Schuckert 1873/1923. Selbstverlag. 102 S. mit vielen Abb.

Jahrbuch 1923. Tung-Chi-Technische Hochschule, Woosung, China.

Der große Krieg 1914 bis 1918, 2. Bd., 2. Teil: **Der deutsche Landkrieg.** Von M. Schwarte. Leipzig 1923, Ambrosius Barth. 675 S. mit 3 Karten und 32 Skizzen. Preis Ganzleinen Gz. 18, Halbleder 27.

Der große Krieg 1914 bis 1918, X. Bd.: **Die Organisation der Kriegführung,** 3. Teil. Von M. Schwarte. Leipzig 1923, Ambrosius Barth. 589 S. Preis Ganzleinen Gz. 18, Halbleder 27.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Amerikanische und europäische Wasserturbinen.

In Z. Bd. 63 (1923) S. 909 tritt Dr.-Ing. e. h. V. Graf, München, sehr warm für Prof. Dr. V. Kaplan, Brünn, ein. Man kann seinen Ausführungen jedoch nicht restlos beipflichten; wenn man nämlich z. B. das amerikanische Patent Nr. 852 022 vom 30. April 1907 heranzieht, in welchem J. Kirschweng Propellerräder für seine Stromturbine verwendet, oder das amerikanische Patent Nr. 962 345 vom 10. Juni 1910, in welchem F. H. Hayner und D. O. Baer propellerartige Stromturbinenräder mit drehbaren Laufradschaufeln beschreiben, so kann Kaplan nur dann als geistiger Urheber der heutigen Propellerturbine bezeichnet werden, wenn seine mehrdimensionalen Erwägungen, auf welchen die außer allem Zweifel stehenden Erfolge seiner Turbine aufgebaut sein sollen, der Fachwelt vorgelegt werden. Die Fachkreise haben das Recht, die theoretischen Grundlagen zu erfahren, welche Kaplan nicht nur zur Konstruktion seiner Laufräder führten, sondern auch ihn veranlaßten, den Leiträdern seiner Turbinen ebene Deckel zu geben. Sie dürfen eine Begründung dafür verlangen, daß die Saugrohre mit Stoßplatte einen Rückgewinn von mehr als 40 vH der Gesamtenergie ermöglichen usw. Ja, die Fachkreise haben sogar die Pflicht, die Veröffentlichung dieser Erwägungen zu fordern, soll ihnen nicht der Vorwurf der Oberflächlichkeit gemacht werden, wenn sie sich mit der nackten Tatsache begnügen, ohne nach dem wissenschaftlichen Kern zu fragen. Werden diese Begründungen, auf die Kaplan in der ausgesprochensten Weise in Veröffentlichungen, z. B. aus dem Jahre 1917 hinweist, der Fachwelt zugänglich gemacht, so werden die Stimmen, welche sich einer Priorität Kaplans entgegenstellen, sofort verstummen.

Wien, November 1923. Prof. Dr. Hans Baudisch.

Herrn Prof. Dr. Baudisch darf ich folgendes erwidern:

Die Priorität Kaplans erblicke ich, wie ich deutlich gesagt habe, in der Tatsache, daß er zuerst die Propellerturbine durch methodische Versuche ausgebildet und praktisch brauchbare Ergebnisse vor die Augen der Mitwelt gestellt hat. Als Kaplan im Jahre 1913 eine Versuchsturbine vorführte, die mit guten Wirkungsgraden eine spezifische Drehzahl von 700 erreichte, da fand sich niemand, der etwas Gleichwertiges aufzuzeigen vermochte. Darin erblicke ich das Entscheidende.

Vor Kaplan hat keine Lehrkanzel die Propellerturbine verkündet, kein Lehrbuch hat von ihr gesprochen, keine Turbinenfirma hat sie befürwortet. Gewiß hat es Ansätze aller Art gegeben. Ich habe das ausdrücklich hervorgehoben. Aber was nützen bloße Patentschriften, die in einem Aktenfach modern? Was nützen bloße Ideen, die in einem spekulativen Gehirn gewälzt werden? Den Streit um die Priorität in der geistigen Konzeption kann man beliebig fortspinnen, es geht dann wie bei der geschichtlichen Forschung, deren Ergebnis schließlich nur eine „fable convenue" ist.

Ob Kaplan der geistige Urheber der Propellerturbine ist, scheint mir viel weniger wichtig, als daß er der tatsächliche Urheber ist.

Auf die übrigen von Prof. Dr. Baudisch angeschnittenen Fragen einzugehen, muß sich aus den obigen Gesichtspunkten erübrigen.

München. [Z 2067] Dr. V. Graf.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 6 SONNABEND, 9. FEBRUAR 1924 BD. 68

INHALT:

Das Problem der maschinellen Einzelkornsaat.

Von Prof. Dr. Georg Kühne, Königsberg i. Pr.

Der folgende auf der Tagung der Hannoverschen Hochschulgemeinschaft am 2. Februar 1924 gehaltene Vortrag behandelt zunächst den Einfluß dünnerer Aussaatmengen auf die Ertragfähigkeit und ihre Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft. Sodann wird über Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses von Saatleitungen auf die Bewegung durchfließender Körner und der Körnerverteilung bei Anwendung heute gebräuchlicher Säeinrichtungen berichtet. Im nächsten Abschnitt werden die Forderungen an eine vollkommene Einzelkörnersämaschine und die Schwierigkeiten ihrer Erfüllung und im Anschluß daran mehrere Versuche zur Lösung des Problemes der maschinellen Einzelkornsaat mitgeteilt.

Einfluß dünnerer Aussaat auf die Ertragfähigkeit.

Die deutsche Landwirtschaft hat die dringende Pflicht, alle möglichen Mittel anzuwenden, die zur Schaffung der zur Ernährung des deutschen Volkes aus eigener Erzeugung erforderlichen Brotgetreidemenge geeignet sind. Eines dieser Mittel ist die allgemeine Einführung dünnerer Aussaaten bei Getreide und Hülsenfrüchten unter gleichzeitiger Anwendung zweckmäßiger und ausreichender Kunstdüngergaben, wie die in Zahlentafel 1 wiedergegebenen Ermittlungen und Schlüsse, die einer Denkschrift der Forschungsgesellschaft für Landwirtschaft in Landsberg a. d. W. an den Herrn Reichsernährungsminister entnommen sind, zeigen.

Zahlentafel 1.

Ersparnisse an Saatgut bei dünnerer Aussaat.

Getreide-ersparnis	Heute übliche durchschnittliche Aussaatmengen	Mindestens erreichbare durchschnittliche Aussaatmengen	Mindestersparnis an Saatgut
	in kg/ha		
Winterroggen	160	100	60
Sommerroggen	140	100	40
Winterweizen	170	140	30
Sommerweizen	170	140	30
Wintergerste	140	100	40
Sommergerste	130	90	40
Hafer	140	90	50

Bezieht man die Zahlen der letzten Spalte auf die gesamte deutsche Getreideanbaufläche des Jahres 1922, so ergibt sich eine Ersparnis an Saatgut von rd. 5 Millionen Doppelzentnern, einer Menge, die in Brot ausgedrückt zur Ernährung von 60 Millionen Menschen einen Monat ausreichen würde.

Zahlreiche von Forschern und praktischen Landwirten angestellte Versuche[1]) lehren, daß durch Verringerung der heute üblichen Aussaatmengen selbst bis unter das in der obigen Mittelspalte angegebene Maß keine Schmälerung des Ertrages, sondern eine Steigerung erzielt wird, wenn bei der Vorbereitung des Saatbettes, bei der Auswahl und Aussaat der Getreidekörner und bei der Pflege der jungen Pflanzen gewisse Voraussetzungen erfüllt werden. Getreidekörner, die aus einem vollwertigen Saatgut entnommen und so in ein gut vorbereitetes, fein gekrümeltes Keimbett gelegt werden, daß sie einen zur Nährstoffaufnahme und Ausbreitung ihres Wurzelsystemes genügend großen Standraum vorfinden, entwickeln sich unter sonst gleichen Verhältnissen zu kräftigeren Pflanzen, als solche, denen wegen zu geringen Standraumes weniger günstige Wachstumsbedingungen gegeben sind. Diese kräftigeren Pflanzen liefern aber höhere Erträge als die, auf die wegen der zu großen Anzahl von Individuen je Flächeneinheit eine zu geringe Nährstoffmenge entfällt, und deren Wurzelsystem infolge zu kleinen Standraumes verkümmert. Die Erfahrung zeigt, daß der Fehler zu geringen Standraumes durch reichere Gaben von Kunstdünger nicht ausgeglichen werden kann. Anderseits bieten größere Standräume die Möglichkeit und den Vorteil, die jungen Pflanzen zu gegebener Zeit durch Hackkultur zu pflegen und damit ihr Wachstum zu fördern.

Die oben erwähnte Forschungsgesellschaft gibt in ihrer Denkschrift an, daß die durchschnittlichen deutschen Ernteerträge an Getreide bei Verringerung der Aussaatmengen, also Vergrößerung der Standräume, erfahrungsgemäß um 600 kg/ha gesteigert werden könnten, und daß bei vorsichtiger Annahme von nur 200 kg/ha die deutsche Getreideernte um etwa 20 Millionen Doppelzentner zunehmen müßte, entsprechend einer Brotmenge, die für 60 Millionen Menschen vier Monate ausreichen würde. Wenn es gelänge, das in den deutschen Landwirtschaftsbetrieben bisher gebräuchliche Aussaatverfahren so umzugestalten oder zu verfeinern, daß jedes Saatkorn einen zu seiner vollen Entwicklung genügenden Standraum vorfände, so würde nach obigen Ausführungen durch Ersparnis an Saatgut und Steigerung der Ernteerträge dem deutschen Volke Brotnahrung für mindestens fünf weitere Monate auf eigener Scholle wachsen und damit seine Unabhängigkeit vom Ausland in der Getreideversorgung gesichert sein. So entsteht aus der Not des Vaterlandes das technische Problem der Weiterentwicklung der in der Landwirtschaft gebräuchlichen Maschinen zur Aussaat von Getreide- und andern Samenarten mit dem Ziele, mechanische Einrichtungen zu schaffen, die die verschiedenartigen Samenarten einzeln in nach allen Richtungen regelbaren Abständen in den Boden legen.

Untersuchungen über den Sävorgang.

Die bisher gebräuchlichen Sämaschinen sind in der Sonderform der Reihensä- oder Drillmaschinen zwar geeignet, Samenkörner in parallelen Reihen, deren Abstände voneinander innerhalb ausreichender Grenzen beliebig geändert werden können, auszulegen. Dagegen können sie den Samenkörnern innerhalb einer Saatreihe keine gleichen Abstände geben. Das wird man bestätigt finden, wenn man junge Saat bald nach ihrem Aufgange oder die Stoppeln abgemähter Getreidefelder aufmerksam betrachtet. Anhäufungen von Pflanzen wechseln in nicht gesetzmäßiger Folge mit mehr oder weniger großen Lücken ab. Eine einwandfreiere Beurteilung der Körnerverteilung durch eine Sä-

[1]) F. von Lochow-Zieckau: Saatstärke, Saattiefe und Reihenweite bei Winter- und Sommergetreide in Beziehung zur allgemeinen Ackerkultur, insbesondere zur Höhe und Verteilung der Stickstoffgabe, Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Bd. 38 (1923) Stück 41 S. 529.

maschine wird durch den zuerst von Gustav Fischer vorgeschlagenen Leimstreifenversuch ermöglicht, bei dem die Körner an der Stelle, wo sie die Maschine verlassen, auf einem mit Leim bestrichenen Papierband aufgefangen werden. Das Papierband wird entweder unter der Maschine, während ihre Säeinrichtung arbeitet, entlang gezogen, oder die Maschine wird über das Band hinweggefahren. Führt man eine Reihe solcher Versuche mit allmählich verringerter Aussaatmenge durch, so sieht man bald nach Unterschreiten der heute durchschnittlich üblichen Aussaatmenge immer größer werdende Lücken in der Körnerreihe entstehen, eine Erscheinung, die die Höhe der heute angewandten Aussaatmengen erklärt.

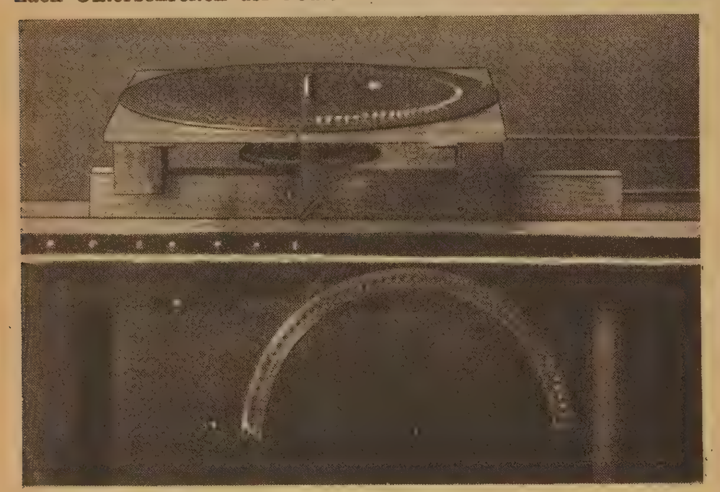


Abb. 1. Idealsäorgan für Laboratoriumsuntersuchungen von G. Kühne.

Ich hatte es unternommen, in einer Reihe von Versuchen die Ursachen der mangelhaften Arbeitsweise der wichtigsten im Gebrauch befindlichen Säeinrichtungen zu ermitteln. Zu dem Zweck schien es erforderlich, den Weg der Körner vom Saatvorratkasten der Maschine bis zur Stelle ihres Austritts in mehrere Abschnitte zu teilen und die Bewegungsvorgänge auf jedem Teil des Weges zu untersuchen. Durch eigene frühere Beobachtungen und in der Literatur auftauchende Vermutungen angeregt, beschäftigte ich mich zunächst mit der Untersuchung des Einflusses der Saatleitungen auf die Bewegung der sie durchlaufenden Körner. Zu diesem Zweck ließ ich eine Einrichtung anfertigen, die es ermöglicht, Körner in gleichen Abständen auf ein Leimpapierband zu legen. Diese „Idealsäorgan" benannte und nur für Laboratoriumsarbeiten bestimmte Einrichtung ist in Abb. 1 dargestellt.

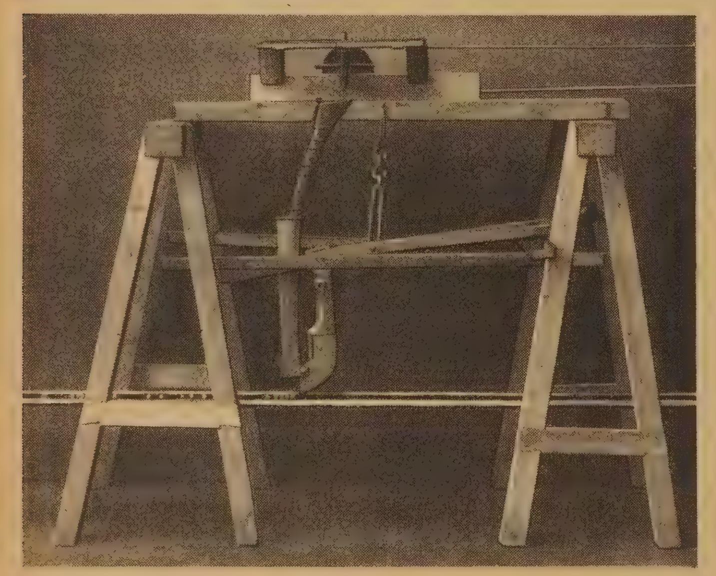


Abb. 2. Ermittlung des Einflusses einer Spiralband-Saatleitung auf die Bewegung durchfließender Körner.

Eine Blechscheibe von 400 mm Dmr. ist in 40 mm Abstand vom Rande mit einem Kreis von Löchern versehen, die gleiche Abstände voneinander aufweisen und deren lichte Weite dem Durchmesser der auszulegenden Samenart (in der Abbildung Erbsen) entspricht. Für Samenarten kleineren Durchmessers werden Ringe mit entsprechenden Lochweiten, wie unten in Abb. 1 dargestellt, aufgelegt. In dem unter der Blechscheibe liegenden Tischblatt ist an einer sich mit dem Lochkreis deckenden Stelle eine Öffnung angebracht, durch die die in den Löchern ruhenden Körner fallen, sobald Loch und Öffnung übereinander stehen. Zum Versuch werden die Löcher mit Körnern gefüllt, die Scheibe wird durch einen Elektromotor mit Schnurtrieb in Drehung versetzt und gleichzeitig unter der Öffnung des Tisches ein Leimpapierband von einer Windevorrichtung mit gleichbleibender Geschwindigkeit entlang gezogen. Das Ergebnis des Versuches zeigt ebenfalls Abb. 1.

Darauf wurde, wie Abb. 2 erkennen läßt, eine gewöhnliche Saatleitung mit dem daran sitzenden Rillenschar zwischen das Idealsäorgan und das Papierband geschaltet und der Versuch wiederholt. Die Ergebnisse sind für Roggen in den Streifen 2 bis 8 der Abb. 3 und für Erbsen in den Streifen 17 bis 26 der Abb. 4 dargestellt. — Diese Versuche und die später folgenden sind von meinem Assistenten Dr. v. Below durchgeführt[1]). — Es zeigt sich, daß die gemäß Streifen 1 und 17 in gleichen Abständen in die Saatleitung hineingeworfenen Körner auf ihrem Wege bis zum Austritt verschiedenartige und verschieden große Verzögerungen erleiden, so daß die anfängliche Gleichmäßigkeit in der Körnerfolge stark gestört wird und eine Gesetzmäßigkeit an der Austrittstelle nicht mehr erkennbar ist. Diese Beobachtungen beziehen sich auf die drei heute üblichen Arten von Saatleitungen: die Spiralband-, Teleskop- und Trichterkettenleitungen, sowie alle an einer Reihensämaschine möglichen Richtungen der Leitungen und auf die in der Verlängerung der Leitungen liegenden Drillschare mit ihren Rohrstulpen. Die Versuchsergebnisse berechtigen zu der Behauptung, daß Saatleitungen nach Art der untersuchten als Leitorgane an Säeinrichtungen für innerhalb der Reihe regelbare Körnerabstände unbrauchbar sind.



Abb. 3. Roggen.

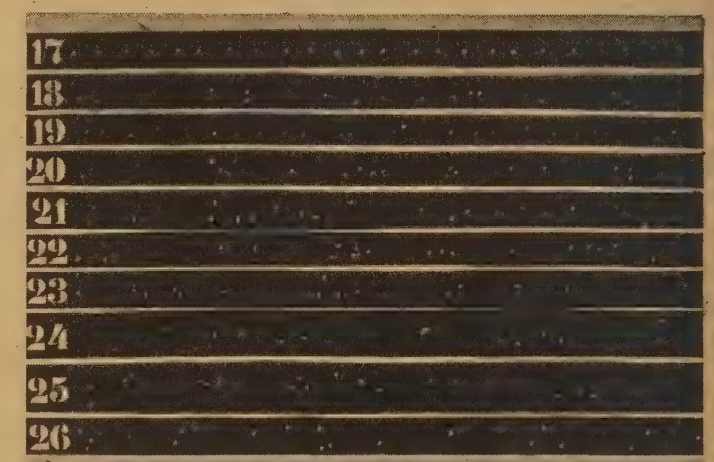


Abb. 4. Erbsen.

Abb. 3 und 4. Leimstreifenversuche zur Ermittlung des Einflusses von Saatleitungen auf die Bewegung durchfließender Samenkörner. (Die Streifen sind je 1 m lang.)

Die nächsten Untersuchungen beschäftigten sich mit der Ermittlung der Eigenschaften der in Deutschland z. Zt. gebräuchlichsten Säorgane. Es wurden untersucht: das Löffelrad mit veränderlichem Löffelschöpfraum, das Schubrad mit veränderlicher Kanalbreite, das Zellenrad mit Oberauslauf und Abstreichfeder, der Schubring und das Schubrad mit unveränderlicher Kanalbreite. Wühlräder wurden in den Kreis der Betrachtungen nicht einbezogen, weil sie bekanntermaßen die Körner noch weniger vollkommen zwangläufig führen als die untersuchten. Ein Versuch, die Ursachen der mangelhaften Arbeitsweise der Säorgane kinematographisch zu finden und festzuhalten, scheiterte

[1]) Ausführliches hierüber bei Gerd v. Below, Untersuchungen zur Frage der maschinellen Dünn- und Einzelkornsaat, Inaugural-Dissertation, Königsberg i. Pr. 1928.

an den zu hohen Kosten. Deshalb wurde wiederum zum Leimstreifenversuch gegriffen. Alle Säorgane wurden so eingestellt, daß sie bei Annahme der Fortbewegung auf dem Acker 25 Körner auf 1 m hätten legen müssen. Einige Versuche wurden mit größerer Saatmenge durchgeführt. Es war nicht immer möglich, die gewollte Menge genau einzustellen, nach Möglichkeit wurde sie jedoch innegehalten. Die Leimpapierstreifen wurden unmittelbar unter dem Auslauf des Säorgans entlang gezogen. Die Versuchsergebnisse sind in den Abbildungen 5 bis 7 wiedergegeben.

Die Streifen 37 bis 46, Abb. 5, sind mit dem Löffelrad mit veränderlichem Löffelschöpfraum gewonnen. Die auf diesen und den folgenden Versuchstreifen erkennbare seitliche Streuung tritt im feldmäßigen Betriebe nicht auf, weil die Körner stets in die Saatrille mit keilförmigem Querschnitt geleitet werden. Hierdurch wird die schädliche Wirkung der Anhäufung von Körnern noch vergrößert, da die Körner noch enger zusammengedrängt werden. Die Verteilung der Körner ist befriedigend, die Übereinstimmung der Zahl der ausgesäten Körner (die Streifen sind je 1 m lang) mit der gewollten Zahl sogar verhältnismäßig gut. Bei Langfrüchten ist das Ergebnis besser als bei Rundfrüchten. Auf einigen Streifen (z. B. 38 und 40) ist deutlich zu erkennen, daß die Löffel die Körner gruppenweise schöpfen und auswerfen. Weniger gut sind die Ergebnisse mit dem verschiebbaren Schubrad auf den Streifen 47 und 48, Abb. 6. Offenbar füllen sich die Zellen eines im Unterauslauf arbeitenden Schubrades ungleichmäßig, worauf die bis zu 20 cm langen Lücken hindeuten.

Das Zellenrad mit Oberauslauf (Streifen 49 bis 52, Abb. 6) arbeitet bei Aussaat von Langfrüchten in dieser Hinsicht besser, die Zellen füllen sich vollständig und die zu viel geschöpften Körner werden durch die Abstreichfeder zurückgehalten; die Streifen 49 und 50 zeigen infolgedessen eine befriedigende Gleichmäßigkeit in der Körnerlage. Erheblich schlechter ist das Ergebnis bei Rundfrüchten, Streifen 51 und 52. Während dieser Versuche war die mangelhafte Wirkung der Abstreichfeder, die bisweilen den Durchgang zu weit öffnet und infolgedessen ein Übermaß an Körnern durchläßt, ein andres Mal eine zu große Körnerzahl zurückhält, deutlich zu sehen. Die mangelhafte Wirkung war offenbar eine Folge der verhältnismäßig großen Unterschiede im Durchmesser der Rundfrüchte.

Auf den Streifen 53, Abb. 6, und 54, Abb. 7, sind die mit dem Schubring erzielten Ergebnisse enthalten, sie zeigen keine gute Verteilung bei Langfrüchten, eine bessere bei Rundfrüchten. Sehr mangelhaft ist die Körnerverteilung bei dem Schubrad mit unveränderlicher Kanalbreite, Streifen 55 bis 57, Abb. 7. Lücken bis zu mehr als 30 cm Länge wechseln mit Anhäufungen von 10 und mehr Körnern auf 10 cm Länge ab. Die gewollte Körnerzahl war nicht zu erreichen. Ein Särad mit unveränderlicher Kanalbreite, die bei dem untersuchten 36 mm betrug, gibt hiernach eine schlechtere Körnerverteilung als ein solches mit eng eingestelltem Kanal.

Forderungen an eine vollkommene Einzelkornsämaschine.

Nach diesen Ergebnissen erscheint keines der untersuchten Säorgane geeignet, einzelne Körner in regelbaren Abständen auszulegen; zur Gewinnung einer Säeinrichtung, die dieser Bedingung entspricht, müssen neue Wege beschritten werden. Es ist anzustreben, daß die Körner einzeln oder in Gruppen einem Vorratkasten entnommen werden, daß im zweiten Fall aus jeder Gruppe ein einzelnes Korn erfaßt wird, während die übrigen Körner in den Vorrat zurückbefördert werden, und daß das einzelne Korn zwangläufig bis zu einer dicht über dem Keimbett liegenden Abwurfstelle geführt wird. Die Säeinrichtung muß zur Aussaat der wichtigsten Körner- und Hülsenfruchtsamen brauchbar sein und ermöglichen, die Abstände der Körner innerhalb der Saatreihe zwischen den durch die Wachstumsbedingungen der verschiedenen Pflanzenarten vorgeschriebenen Grenzen zu regeln.

Der Erfüllung dieser Bedingungen stellen sich große Schwierigkeiten in den Weg, die ihre Ursache in den sehr erheblichen Unterschieden in der Größe, Form und Oberflächenbeschaffenheit zwischen den verschiedenen Samenarten, aber auch innerhalb einer Samenart, und in der Empfindlichkeit der Körner gegen Druck und Biegung haben. Bei manchen Samenarten genügt eine sehr kleine mechanische Beeinflussung zur Verletzung des Embryos und Zerstörung der Keimfähigkeit. Geringe Beschädigungen der Samenhaut können Fäulniserregern Eingang in das Innere des Kornes verschaffen und die Veranlassung zur Zerstörung des Mehlkörpers geben. Zu den geschilderten Schwierigkeiten gesellen sich die bekannten aus der Rauhheit des landwirtschaftlichen Betriebes und insbesondere der unsachgemäßen Behandlung der Landmaschinen folgenden, auf die in hohem Maße bei der Formgebung Rücksicht genommen werden muß.

Die Übersicht in Zahlentafel 2 zeigt die Grenzen der Unterschiede in Größe und Gewicht bei einigen wichtigen Samenarten.

Zahlentafel 2. Größe und Gewicht einiger Samenarten.

Samenart	Länge	Breite	Dicke	Gewicht von 1000 Körnern
	mm			g
Weizen	5,0 bis 8,6	1,6 bis 4,7	1,5 bis 3,5	15,2 bis 60,0
Roggen	5,0 „ 10,0	1,5 „ 3,5	1,5 „ 3,0	13,0 „ 50,0
Gerste . . .	7,0 „ 13,5	2,5 „ 5,0	1,5 „ 3,0	23,0 „ 58,0
Hafer	8,5 „ 20,0	2,0 „ 3,5	1,0 „ 2,6	14,0 „ 54,1
	größter	mittlerer	kleinster	
	Durchmesser in mm			
Erbse	6,6 bis 8,6	5,6 bis 7,9	5,7 bis 7,3	78 bis 564

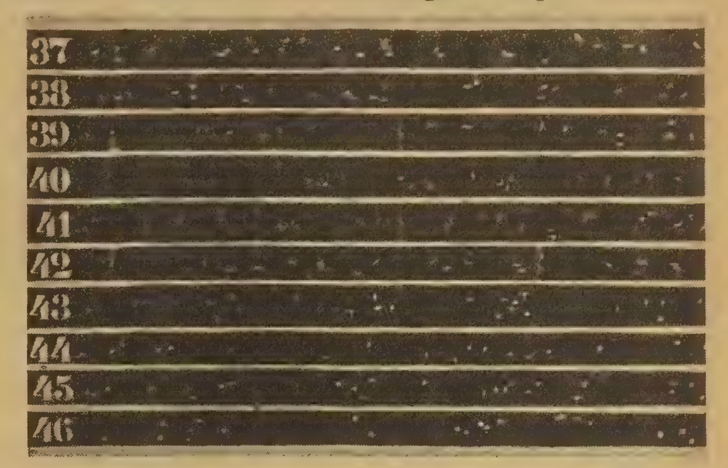


Abb. 5. Löffelrad mit veränderlichem Löffelschöpfraum.

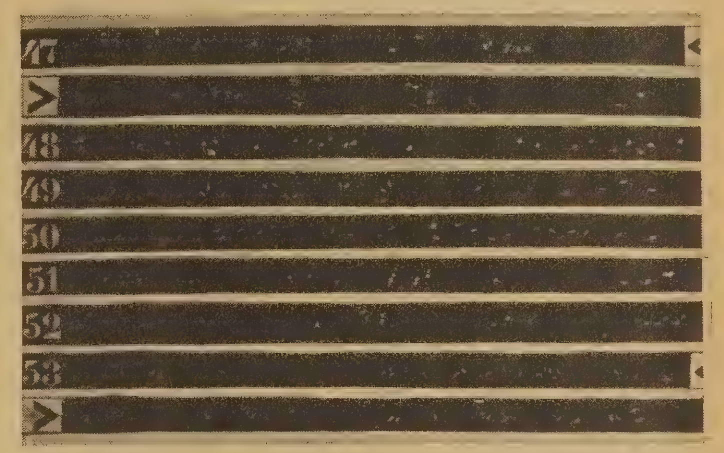


Abb. 6. Verschiebbares Schubrad (47 und 48), Zellenrad mit Oberauslauf (49 bis 52), Schubring (53).

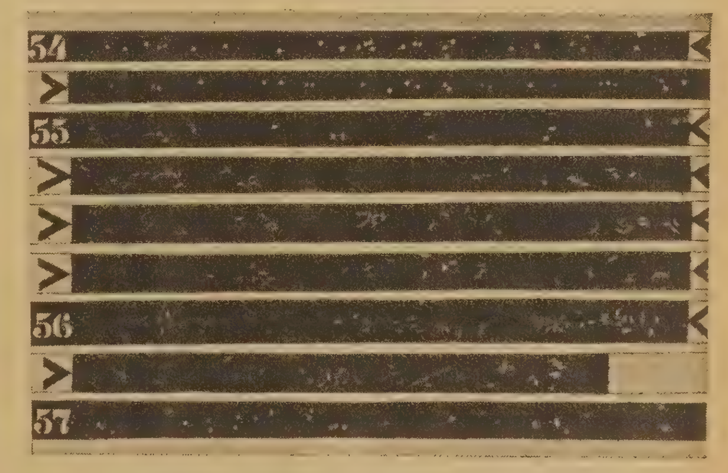


Abb. 7. Schubring (54), Schubrad mit unveränderlicher Kanalbreite (55 bis 57).

Abb. 5 bis 7. Leimstreifenversuche zur Ermittlung der Körnerverteilung durch verschiedene Sävorrichtungen.

Bisherige Versuche zur Lösung des Problems.

Die Bedeutung des Problems hat zahlreiche Erfinder zum Versuch seiner Lösung angeregt, ohne daß eine der geschaffenen Bauarten bis jetzt Verbreitung in der Landwirtschaft gefunden hätte, was in einigen Fällen seine Ursache in der Kürze des Zeitraums hat, der seit Schaffung der Konstruktion verstrichen ist, in andern aber auch an der praktischen Unbrauchbarkeit der betreffenden Bauart liegt. Die bisher bekanntgewordenen Kon-

struktionen von Einzelkorn-Säeinrichtungen lassen sich etwa nach folgenden Gesichtspunkten unterscheiden und ordnen:

I. Einrichtungen zur Vereinzelung der Samenkörner, die
  a) unvollkommen zwangläufig,
  b) vollkommen zwangläufig arbeiten.
    Letztere, die unter Anwendung von
    1) Schöpfketten oder Bändern,
    2) Saug- oder Druckluft,
    3) gesteuerten Auslaßklappen oder Schiebern,
    4) Säscheiben mit Greifern,
    5) Säscheiben mit Zellen
    die Körner einzeln und zwangläufig erfassen.

II. Einrichtungen, die das vereinzelte Korn durch
  a) freien Fall,
  b) ein Fördermittel, wie eine Kette oder Schnecke, ein Band oder Zellenrad in den Boden gelangen lassen.

Eine Anzahl Beispiele sollen die bisherigen Bestrebungen zeigen und Anregungen zu weiteren geben.

Auf die unvollkommen zwangläufig arbeitenden Einzelkorn-Säeinrichtungen, wie z. B. die von dem Ingenieur Frey in Gemeinschaft mit dem Landwirt Uhle konstruierte[1]), soll nicht eingegangen werden, weil sie der wichtigen Bedingung, die Körner einzeln in nach allen Richtungen regelbaren Abständen in den Boden zu legen, nicht entsprechen. Ebensowenig auf die praktisch bedeutungslosen Vorschläge, die Samenkörner in gleichen Abständen auf lange schmale Papierstreifen zu kleben und diese Körner nicht ganz in der Schöpfgrube liegen, sondern mit einem Teil herausragen. In dieser Lage werden sie vom Abstreicher erfaßt und in der Regel vollends aus der Grube hinausgeschoben, was eine Fehlstelle in der Körnerlage zur Folge hat.

Ein Beispiel für die mit Saugluft arbeitende Gruppe von Einzelkorn-Sämaschinen ist in der Konstruktion von Alfred Hempel, Neustadt in Sachsen, Abb. 11, gegeben. Für jede Saatreihe ist eine Glocke a vorgesehen, die von einer wagerecht gelagerten Welle gedreht wird und auf der Innenfläche ihres Mantels mehrere Ringnuten enthält. Diese Nuten stehen durch feine Düsen mit einem System von Kanälen in Verbindung, in dem durch ein Saugrohr b ein Unterdruck hervorgerufen wird. Die Samenkörner werden durch eine in der Abbildung fortgelassene Speiseleitung in das Innere der Glocke geführt, wo sie sich in die Ringnuten legen. Die Glocke wird während der Drehung leicht erschüttert, damit auch lange Körner sich zuverlässig in die Nuten legen. Unter dem Einfluß des Unterdruckes soll von jeder Düse je ein Korn festgehalten und nach oben geführt werden. Bei Erreichung der höchsten Stellung wird die Saugwirkung durch eine Blende c unterbrochen. Die nicht mehr der Saugwirkung unterliegenden Körner fallen in die Zellen eines Fördermittels d, das sie zwangläufig zu Boden führt. Entgegen der üblichen Anordnung wird das Saatbett mit einer Walze e geriffelt, damit die abgeworfenen Körner nicht rollen. Abgesehen von der sehr verwickelten Konstruktion der beschriebenen Einrichtung muß die Anwendung von feinen Düsen und Kanälen an einer Landmaschine, die häufig in staubiger Luft arbeitet, Bedenken auslösen.

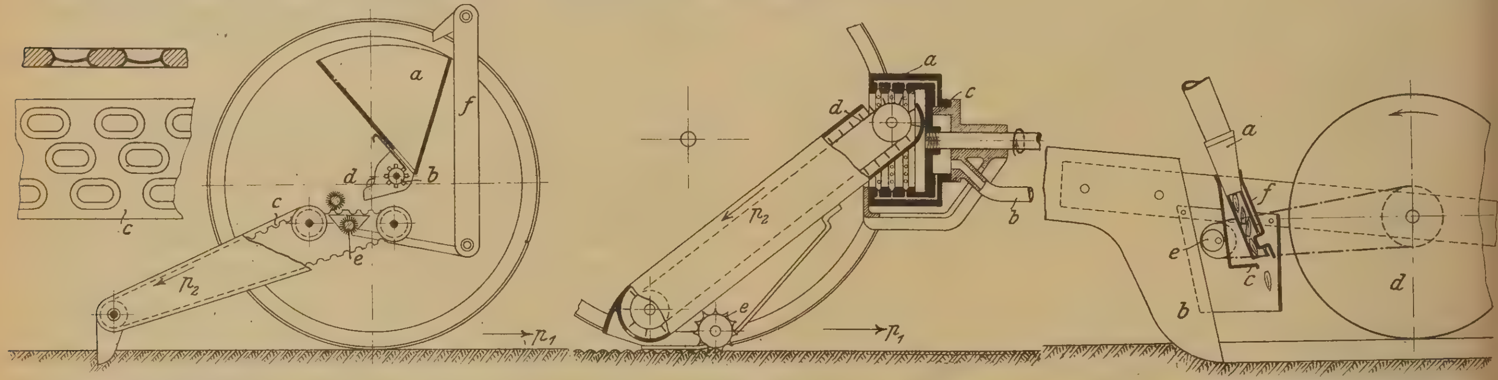


Abb. 8 bis 10. Säeinrichtung mit Zellenband der Vereinigten Fabriken landwirtschaftlicher Maschinen, vorm. Epple & Buxbaum, Augsburg.

Abb. 11. Mit Saugluft arbeitende Einzelkornsämaschine von Alfred Hempel in Neustadt i. Sa.

Abb. 12. Säeinrichtung mit gesteuertem Auslaßschieber von Johannes Jacobsen in Neuruppin.

mit einer besonderen Einrichtung in den Boden zu legen, oder jedes Samenkorn mit einer Hülle zu umgeben, die zwecks Erleichterung maschineller Aussaat in eine regelmäßige Form (Kugel) gepreßt ist.

Zu den Einrichtungen, die vollkommen zwangläufig arbeiten und die Körner unter Anwendung eines Zellenbandes auslegen, gehört die in Abb. 8 bis 10 unter Fortlassung alles Beiwerkes schematisch und für eine Saatreihe dargestellte (was auch für die folgenden Abbildungen gilt) der Firma Vereinigte Fabriken landwirtschaftlicher Maschinen, vorm. Epple & Buxbaum, Augsburg. Aus dem Saatkasten a werden die Körner mit einem Schubrad b über eine Rinne einem Zellenband c zugeführt. Das Zellenband besteht aus Leder oder Metall mit Gruben, deren Größe und Form dem Saatgut entsprechen, und die in mehreren Reihen versetzt angeordet sind, um die Laufgeschwindigkeit des Bandes möglichst gering zu halten. Eine umlaufende Bürste d streicht die überflüssigen Körner in eine Fördervorrichtung e, aus der sie von einem Becherwerk f aufgenommen und in den Vorratkasten zurückgeführt werden. Pfeil p_1 gibt die Fahrtrichtung der Maschine an. Das Zellenband führt die Körner in Richtung von p_2 der von einem Schar in bekannter Weise gezogenen Saatrille zu. Die vorliegende Lösung erfordert neben einer Schubrad-Säeinrichtung die Einzelkorn-Legevorrichtung und besondere Fördermittel zur Zurückführung von Überschußkörnern in den Saatkasten.

Es fehlt nicht, was hier erwähnt sein möge, an Versuchen, die aus einer Kette oder einem Zellenband bestehende Einzelkorn-Legevorrichtung gleich zur Entnahme des Saatgutes aus dem Vorratkasten benutzen. Hierdurch wird eine Vereinfachung erzielt, aber es dürften die Nachteile, die ich bei der Untersuchung von Schöpfgruben verschiedener Formen festgestellt habe, und die in einer nicht zuverlässigen Vereinzelung bestehen, nicht beseitigt werden. Bei Anwendung von Schöpfgruben müssen stets Abstreicher zum Zurückhalten der Körner, die außerhalb der Grube auf der Fläche des Fördermittels liegen, vorgesehen werden. Diese Abstreicher führen bei zu geringer Nachgiebigkeit zu Körnerbeschädigungen, bei genügender Elastizität wirken sie unvollkommen. Ferner kann man häufig beobachten, daß lange

[1]) Vergl. Z. Bd. 63 (1919) S. 116 und „Die Technik in der Landwirtschaft" Bd. 1 (1920) S. 449.

Ein Versuch zur Lösung der Aufgabe in einfacher Form ist von Johannes Jacobsen in Neuruppin unternommen. Abb. 12 zeigt bei a den Auslaß der Saatleitung einer gewöhnlichen Drillmaschine, der in üblicher Weise hinter einem Saatreihenschar b angeordnet ist. An den Auslaß a schließt sich eine Leitung an, die so eng ist, daß die Samenkörner nicht mehr nebeneinander, sondern nur hintereinander durch sie gleiten können. Die Austrittöffnung wird durch einen federnd befestigten Auslaßschieber c unter Einwirkung der von der Rolle d angetriebenen Exzenterscheibe e periodisch geöffnet und verschlossen. Öffnet c die Austrittöffnung, so soll das unterste Korn herausfallen, während das vorletzte von der durch eine Öffnung in die Leitung greifenden Feder f festgehalten wird. Wenn Schieber c in die Schlußstellung geht, so drückt er gegen die Feder f und bewirkt dadurch Freigabe des bis dahin festgehaltenen Kornes. Man kann die Konstruktion als eine Weiterentwicklung des bekannten Klappendibbel-Säapparates ansehen.

Der Grundgedanke dieser Lösung ist verhältnismäßig einfach; in gebrauchfähiger Ausführung wird die Einrichtung aber wesentlich verwickelter aussehen, wie folgende Betrachtung zeigen mag. Bei Annahme einer mittleren Fahrgeschwindigkeit der Sämaschine von 1 m/s und einem Kornabstand von 5 cm in der Saatreihe verlassen 1200 Körner in 1 min in jeder Reihe die Maschine. Wenn die Säeinrichtung einer jeden Reihe nur eine Austrittöffnung haben würde, so würde die Exzenterscheibe 1200 Uml./min ausführen müssen. Abgesehen von der Unmöglichkeit, so hohe Umlaufzahlen an einer Stelle anzuwenden, die gegen Verschmutzung nicht zu schützen ist, würden auch die kurzen Zeitabschnitte zwischen dem Öffnen und Schließen der Austrittöffnung nicht ausreichen, um einen ordnungsmäßigen Körneraustritt zu sichern. Deshalb müssen für jede Saatreihe, wie Jacobsen es auch vorgesehen hat, mehrere Austrittöffnungen bzw. Vereinzeleinrichtungen nebeneinander angeordnet sein. Um bei einem Körnerabstand von 5 cm (bisweilen muß er noch geringer sein) nicht mehr als etwa 200 Bewegungsspiele einer jeden Vereinzeleinrichtung zu bekommen, würden deren 6 nebeneinander gelegt werden müssen, wodurch die Einfachheit der Konstruktion leidet.

Einen Weg, der bei Kartoffellegemaschinen zum Erfolg geführt hat, hat die Agrumaria, Maschinenfabrik-A.-G. in Windsheim (Bayern), beschritten, die den Bau von Einzelkorn-

Sämaschinen nach den Konstruktionen von Franz Udvary aufgenommen hat. Abb. 13 zeigt die mit Säscheiben mit Greifern arbeitende Vereinzeleinrichtung. In einem Saatvorratbehälter *a* liegt das Särad *b*, das am Umfange scherenförmige Greifer trägt, die unter dem Einfluß von Federn geschlossen und von einer Kurvenbahn *c* geöffnet werden. Im geöffneten Zustand tauchen sie in den Saatgutvorrat ein, nehmen beim Schließen ein Korn mit und führen es bis zu einer Stelle, wo es in die Zellen eines synchron mit dem Särad umlaufenden Legerades *d* fällt, das es in die Saatrille legt. Solche scherenförmigen Greifer wirken, wie man leicht durch einen entsprechenden Versuch mit einer gewöhnlichen Schere feststellen kann, verhältnismäßig sicher. Langfrüchte, wie Roggen oder Hafer, nehmen sie einzeln aus einem Vorrat heraus und halten sie fest. Aber schon bei Weizenkörnern geringerer Länge und größerer Dicke kommen Aussetzer vor, die sich bei ausgesprochenen Rundfrüchten stark mehren, weil die Scherenblätter von der Rundung des

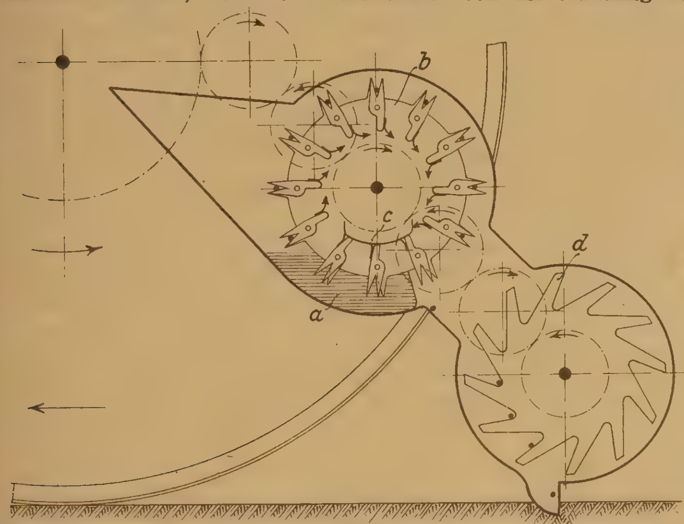


Abb. 13. Einzelkornsämaschine mit Greifer-Säscheibe nach Franz Udvary der Agrumaria Maschinenfabrik A.-G. in Windsheim (Bayern).

Samenkornes abgleiten. Zu Bedenken geben die vielen kleinen und bewegten Teile des Greiferrades Veranlassung, auch ist die Möglichkeit der Verletzung empfindlicher Samenkörner nicht von der Hand zu weisen.

Der Gedanke, zum Vereinzeln und zum Legen der Körner ein vielzelliges Rad zu benutzen, ist von der Firma Fried. Krupp A.-G. in Essen in einer Einrichtung nach Abb. 14 und 15 verwirklicht. Im unteren Teil eines Saatvorratkastens liegt eine Zuführungswalze *a*. Die von ihr geförderten Körner gelangen in einen sich verjüngenden Kanal, an dessen einer Wand eine mit Rippen besetzte Ausrichtscheibe *b* umläuft, die den Körnern gleiche Lage erteilen und sie dem Särad *c* zuführen soll. Die Breite des Rades *c* entspricht der Dicke des Saatgutes; es trägt am Umfang zahlreiche Einschnitte, die zu Zellen werden, weil das Rad zwischen feststehenden Scheibenwänden läuft. Überschüssige Körner, die in den Zellen nicht Platz finden, werden durch einen etwa im Radscheitel sitzenden, nicht dargestellten Abstreicher in zwei Rinnen *d* geworfen und gleiten in diesen in einen Sammelbehälter. Die in den Zellen liegenden Körner werden in eine Saatleitung *e* geworfen, die sie in die Saatrille führt.

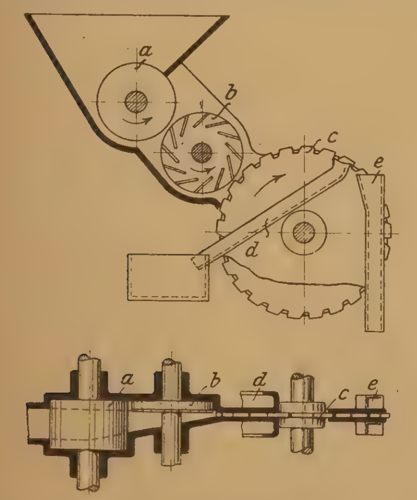


Abb. 14 und 15. Säeinrichtung mit Vielzellen-Särad von Fried. Krupp A.-G. in Essen.

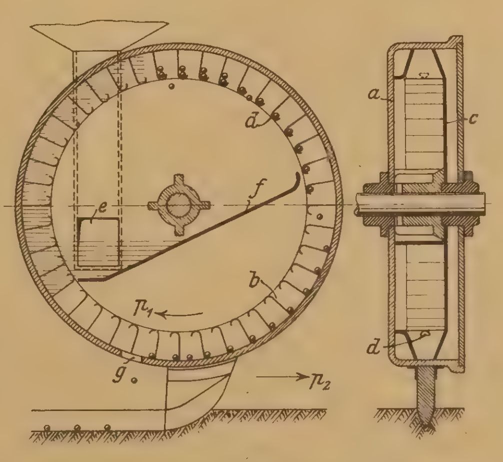


Abb. 17 und 18. Einzelkorn-Säorgan von Georg Kühne in Königsberg i. Pr.

Verwandte Grundgedanken finden sich in der in Abb. 16 veranschaulichten Einzelkornsämaschine des Prinzen zu Schoenaich-Carolath in Rohnstock (Schlesien). In einer Rinne *a*, die durch einen Klopfer *b* erschüttert wird, sollen die Körner sich so ordnen, daß sie von einem Zellenrad *c* möglichst einzeln erfaßt werden können. Zu viel erfaßte Körner sollen von einem nicht dargestellten Abstreicher an der Stelle abgestrichen werden, wo die Zellen in dem das Rad umschließenden Gehäuse verschwinden. Das Zellenrad wirft die Körner in eine Saatleitung *d* hinein. Das oben über Abstreicher und Saatleitungen Gesagte gilt auch für die beiden zuletzt beschriebenen Einrichtungen.

Zu den Vereinzeleinrichtungen, die unter Anwendung von Säscheiben mit Zellen die Körner einzeln und zwangläufig erfassen, gehört eine von mir konstruierte, in Abb. 17 und 18 schematisch dargestellte Einzelkorn-Säeinrichtung. In einem Gehäuse *a* ist eine mit Zellen am Umfange versehene Säscheibe drehbar gelagert. Die Zellen werden durch schaufelförmige Scheidewände *b* abgeteilt, die auf der einen Seite in einer geschlossenen Scheibe *c*, auf der andern in einem Ring



Abb. 19. Leimstreifenversuch zur Ermittlung der Körnerverteilung durch das Säorgan von Kühne.

ihren Halt finden. Jede Scheidewand trägt eine Rast *d*, deren Form und Größe von der auszusäenden Samenart abhängen. Während der Arbeit wird die Säscheibe im Sinne des Pfeiles p_1 gedreht und das Säorgan in Richtung p_2 fortbewegt. Dem Innern des Gehäuses und der Säscheibe fließen durch die in der Gehäusewand liegende Öffnung *e* Samenkörner aus einem auf dem Gehäuse angeordneten Vorratbehälter zu. Sie legen sich, wie die schraffierte Fläche es andeuten möge, auf das am Gehäuse befestigte, an der Drehung der Säscheibe also nicht teilnehmende Füllblech *f* und fließen in die Zellen, die von dem Blech nicht abgedeckt sind.

Bei der Drehung der Säscheibe entleeren sich die Zellen allmählich bis auf einige Körner, die von der Rast *d* zurückgehalten werden. Etwa in der Scheitelstellung vollzieht sich die Vereinzelung; die letzten Überschußkörner fallen in die auf dem Blech *f* liegende Körnermenge zurück, und das von der Rast *d* getragene Einzelkorn wird zwangläufig bis zur Austrittöffnung *g* geführt, aus der es mit geringer Fallhöhe in die von einem am Säorgan befestigten Schar gezogene Saatrille fällt.

Die beschriebene Säeinrichtung kann, da sie mit einem Saatgut-Vorratbehälter ausgerüstet ist und deswegen eine in sich geschlossene einreihige Sämaschine darstellt, in Fahrgestellen beliebiger Breite zu Gruppen für beliebige Reihenzahlen zusammengefaßt werden. Bei der Konstruktion wurde besonders danach getrachtet, Körnerbeschädigungen auszuschließen; Stellen, die den Körnern gefährlich werden könnten, sind vermieden. Die Körner werden mit einem Organ vereinzelt und gelegt, die Benutzung

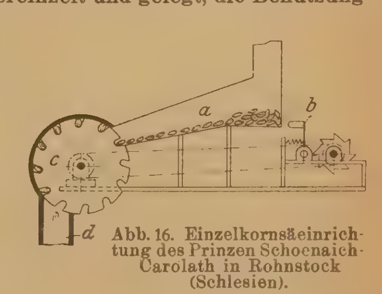


Abb. 16. Einzelkornsäeinrichtung des Prinzen Schoenaich-Carolath in Rohnstock (Schlesien).

Zahlentafel 3. Versuchsergebnisse der Einzelkorn-Säeinrichtung von G. Kühne.

Samenart	Stellung der Maschine	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
		von je 5 Min. Dauer ergab eine Aussaatmenge in g		
Weizen	wagerecht	206	207	207
	in Fahrtrichtung 15 vH bergab	209	210	207
	in Fahrtrichtung 15 vH bergauf	210	214	217
Roggen	wagerecht	135	139	137
	in Fahrtrichtung 15 vH bergab	134	139	135
	in Fahrtrichtung 15 vH bergauf	142	144	143
Roggen (das Säorgan war auf eine größere Saatmenge als bei der vorigen Versuchsreihe eingestellt)	in Fahrtrichtung wagerecht und quer dazu 15 vH Hang nach rechts	162	162	162
	in Fahrtrichtung 15 vH bergab und quer dazu 15 vH Hang nach rechts	158	160	161
	in Fahrtrichtung 15 vH bergauf und quer dazu 15 vH Hang nach rechts	163	163	165

einer besonderen Fördereinrichtung zur Zurückführung der Überschußkörner erübrigt sich, da diese ohne weiteres an die Stelle zurückgelangen, von der aus sie wieder in die Säscheibe fließen können. Wegen der großen Zellenzahl konnte der Säscheibe eine geringe Drehzahl gegeben werden, die selbstverständlich veränderlich ist, um die Körnerabstände innerhalb der Reihe je nach den Betriebverhältnissen ändern zu können. Auf die Möglichkeit leichten Austausches von Säscheiben beim Übergang von einer Samenart zur andern ist Rücksicht genommen worden.

Aus der Reihe der zahlreichen Leimstreifenversuche, die mit der Einrichtung zwecks Ermittlung ihrer Eigenschaften angestellt worden sind, seien einige herausgegriffen und in Abb. 19 wiedergegeben. Die Streifen *a* und *b* zeigen Versuche mit Roggen, *c* und *d* mit Weizen, je mit verschieden eingestellten Körnerabständen, und die Streifen *e* und *f* mit Erbsen; sie beweisen die mit dem Säorgan erzielbare hochgradige Gleichmäßigkeit in der Körnerlage. Die geringe Empfindlichkeit der Säeinrichtung gegen Bodenneigungen wird durch die in Zahlentafel 3 enthaltene Übersicht belegt.

Mit diesen Ergebnissen glaubt Verfasser die Lösbarkeit des Problems der maschinellen Aussaat einzelner Samenkörner in nach allen Richtungen regelbaren Abständen in einer für die Anforderungen des landwirtschaftlichen Betriebes ausreichenden Form bewiesen zu haben.

Schließlich sei noch auf die Bedeutung der Frage der Tiefenlage der Samenkörner hingewiesen, die mit dem Problem der Einzelkornsaat im engsten Zusammenhang steht. Jedes Samenkorn entwickelt sich nur dann zu einer kräftigen Pflanze, wenn neben der Erfüllung aller andern Voraussetzungen auch darauf geachtet wird, daß es in die für seine Entwicklung günstigste Tiefe gelegt wird[1]. Ist es schon bei Benutzung der heute gebräuchlichen Säverfahren wichtig, diese Forderung möglichst vollkommen zu erfüllen, so muß bei der Einzelkornsaat mit stark verringerter Aussaatmenge unbedingt angestrebt werden, alle Körner in die günstigste Tiefenlage zu bringen, weil jedem Korn eine größere Bedeutung für den Gesamtertrag zufällt, als bei größerer Aussaatmenge. Allgemein gültige Angaben für die richtige Tiefenlage verschiedener Samenarten lassen sich nicht machen, weil selbst bei einer bestimmten Samenart die Tiefe je nach den herrschenden Wachstumsbedingungen wechseln kann. Die Grenzen, zwischen denen die Tiefe sich regeln lassen muß, sind für unsere heimischen Hauptgetreidearten und die wichtigsten Hülsenfrüchte etwa 1 und 6 cm. Die Behandlung der Lösung der Frage der mechanischen Saattiefenregelung möge einem besonderen Aufsatz vorbehalten bleiben. [A 1]

[1] F. von Lochow-Zieckau, a. a. O. S. 531.

Bautätigkeit der Werften

am 31. Dezember 1923.

Nach Loyds Register hat die Bautätigkeit auf den englischen Werften im letzten Vierteljahr ein wenig zugenommen, allerdings hat sie den Stand des Vorjahres noch nicht wieder erreicht. Besonders fällt der Raumgehalt der in Bau gegebenen Schiffe auf; es sind entweder verhältnismäßig kleine Dampfer oder größere Motorschiffe, wie Zahlentafel 1 zeigt.

Zahlentafel 1. Zahl der in Großbritannien und Irland am 30. September und 31. Dezember 1923 in Bau befindlichen Schiffe:

Raumgehalt B.-R.-T.	Dampfer			Motorschiffe		
	30. Sept.	31. Dez.	Unterschied	30. Sept.	31. Dez.	Unterschied
100 bis 500	37	49	+12	8	7	−1
500 „ 1 000	32	37	+5	2	2	—
1 000 „ 2 000	35	55	+20	1	2	+1
2 000 „ 3 000	20	20	—	3	2	−1
3 000 „ 4 000	23	27	+4	1	2	+1
4 000 „ 5 000	23	25	+2	11	9	−2
5 000 „ 6 000	29	32	+3	9	12	+3
6 000 „ 8 000	18	18	—	9	11	+2
8 000 „ 10 000	8	7	−1	2	3	+1
10 000 „ 15 000	10	8	−2	—	—	—
15 000 „ 20 000	7	9	+2	1	2	+1
20 000 „ 25 000	4	3	−1	2	3	+1
25 000 „ 30 000	1	1	—	—	—	—
zusammen	247	291	+44	49	55	+6

Man erkennt hieran deutlich das Bestreben, die englische Handelsflotte durch Verwendung von Motorschiffen zu verjüngen. Die gesamte Bautätigkeit in den verschiedenen Ländern geht aus Zahlentafel 2 hervor, in der der Holzschiffbau und Segelschiffe jedoch nicht berücksichtigt sind.

Aus der Endsumme der Zahlentafel 2 erkennt man wieder wie aus Zahlentafel 1, daß vorwiegend kleine Dampfer in Bau gegeben sind, deren Raumgehalt hinter dem der im vorletzten Vierteljahr in Bau befindlichen Schiffe wesentlich zurückbleibt. Dies gilt besonders für die Bautätigkeit in Deutschland, Danzig und Fiume. Die Bautätigkeit hat, was den Raumgehalt der Dampfschiffe anbelangt, in England, Norwegen und Schweden zugenommen. Sie hat in den übrigen Ländern abgenommen, besonders in Deutschland, Frankreich, Italien, Japan und Amerika, dessen Seeschiffbau heute etwa nur so stark wie der spanische ist. Demgegenüber hat der im Bau befindliche Motorschiff-Raumgehalt im letzten Vierteljahr im allgemeinen um 38 vH zugenommen, in Deutschland und Amerika um 75 vH, in Holland um 45 vH, in England um 30 vH.

Zahlentafel 2.

Bautätigkeit am 30. September und 31. Dezember 1923

Stählerne Schiffe über 100 B.-R.-T.

Länder	Dampfer				Motorschiffe			
	30. September		31. Dezember		30. Sept.		31. Dezember	
	Zahl	Raumgehalt B.-R.-T.	Zahl	Raumgehalt B.-R.-T.	Zahl	Raumgehalt B.-R.-T.	Zahl	Raumgehalt B.-R.-T.
Belgien	4	5 640	4	5 640	—	—	—	—
Brasilien	—	—	1	2 200	2	4 370	—	—
China	—	—	1	1 850	—	—	—	—
Danzig	5	46 900	7	12 440	—	—	—	—
Dänemark	19	28 753	20	28 109	5	18 552	8	34 087
Deutschland	53	220 695	64	187 823	21	77 590	27	135 561
Fiume	6	6 299	16	5 977	—	—	—	—
Frankreich	27	130 560	22	100 725	1	8 500	1	8 500
Großbritannien und Irland	247	1 014 724	291	1 065 770	49	254 426	55	323 641
Kolonien:								
Australien	5	21 400	4	20 950	—	—	—	—
Kanada	2	550	2	550	—	—	—	—
Hong Kong	6	11 650	5	8 090	—	—	1	110
Sonstige	4	2 770	2	2 380	—	—	—	—
Holland	26	78 536	33	77 636	8	24 275	9	34 775
Italien	20	123 290	17	99 100	2	14 700	2	13 000
Japan	25	73 412	18	57 857	1	4 600	2	5 350
Norwegen	23	21 235	27	30 010	3	3 925	2	3 725
Spanien	4	22 240	4	22 240	2	270	5	675
Schweden	7	5 584	8	7 584	9	31 290	9	35 300
Vereinigte Staaten:								
Atlantische Küste	18	37 008	9	20 585	4	10 000	12	17 400
Pazifische Küste	2	13 300	1	1 300	1	1 000	—	—
Große Seen	5	33 000	7	32 900	1	1 500	2	16 400
Insgesamt	508	1 897 546	563	1 791 716	109	454 998	135	628 524

Auf der Schiffbautätigkeit lastet noch immer die schleichende Krise im Welthandel, die durch die Machenschaften der Franzosen an der Ruhr zu einem chronischen Leiden zu werden droht. Diese Erkenntnis bricht sich heute besonders in englischen Schiffbaukreisen Bahn, die mit ansehen mußten, wie durch eine verfehlte Politik die deutschen Werften zu einer Scheinblüte kamen, während die eigenen Helgen leer standen. Daß man drüben dem deutschen Schiffbau heute mehr gerecht wird, beweist die Aufnahme eines Vortrages von Dr. Schaffran in englischen Schiffbaukreisen. [M 44] Dr. W. S.

Francisturbinen mit liegender Welle nach der Einbauweise von Hallinger.

Von Ingenieur Carl Reindl, München.

Darstellung von vier ausgeführten oder im Bau befindlichen Kraftwerken und zweier Entwürfe für Doppelzwillingsturbinen, die im Maschinenhaus unter Blechhauben liegen und hochgesaugten Oberwasserspiegel haben. Die Anordnung verbraucht geringen Raum und wenig Baumassen, ist sehr übersichtlich, aufs einfachste einzubauen und leicht bedienbar. Diese neue Bauart von Hallinger, eine Weiterentwicklung der in dieser Zeitschrift 1917 behandelten versetzten Aufstellung, tritt in ernsten Wettbewerb mit der bekannten stehenden Wellenanordnung der Einfachspiralturbinen und Schirmgeneratoren ohne und mit Zahnradvorgelege.

I. Allgemeines.

Die Kraftwerkkosten, d. i. die Summe der Kosten für Krafthaus und Maschinen, beanspruchen heute einen größeren Anteil an den Gesamtkosten einer Wasserkraftanlage als vordem und lassen greifbare Einsparungen nur mit besonderen baulichen und konstruktiven Maßnahmen zu, im Gegensatz zu den übrigen Teilen, z. B. bei den Wasserfassungen, Einläufen, Kanälen und dergl., die mit weitgehender Anwendung von Baumaschinen und mit Verminderung der Massen verbilligt werden können. Bei den Kraftwerkkosten ist für die gebräuchlichen Bau- und Maschinentypen das Kostenmindestmaß, d. h. das Mindestmaß an Maschinengewicht und Baustoffverbrauch, bei den Ausführungen der letzten Jahre jedenfalls nahezu erreicht, und weitere erstrebenswerte Einsparungen sind nur durch Verringerung der Maschinengewichte und des umbauten Raumes (der Größe der Baugrube) herbeizuführen.

Dafür stehen verschiedene Wege offen, die zum Teil in der Anordnung der Gesamtanlage, zum Teil in der Wahl der Maschinenausrüstung liegen. In Bayern geht die Großwasserkraftausnutzung bei dem Mangel an hohen Gefällen auf die Flachlandflüsse mit erheblichen Wassermengen und im Süden auf die aus der Gebirgskette tretenden Flüsse über (Lech, Isar, Inn, Donau, Rhein), oder auf Flußgebiete mit verschiedenen Wasserführungen und verschiedenen Höhenlagen (Lech-Main bzw. Rhein-Main-Donau). Das Streben nach hoher Drehzahl führt von selbst zum Streben nach hohen Gefällstufen, und zu diesem Zwecke müssen zumeist lange Kanäle weitab vom Flußschlauch unter Ausnutzung von Höhenzügen und Talstufen (mittlere Isar) angelegt werden, wenn man nicht hohe Dämme und tiefe Einschnitte als Folge größerer Freizügigkeit in der Linienführung in den Kauf nehmen will. Eine Verringerung der Gefällhöhe, also Vereinfachung der Kanalführung, erhöht auf einer gegebenen Flußstrecke die Zahl der Kraftwerke. Ein Rechnungsverfahren zur Bestimmung der günstigsten Kraftwerkabstände und Kanalabmessungen, also zur Ermittlung des Kostenmindestmaßes einerseits und der Höchstausnutzung anderseits, hat Ingenieur Joh. Hallinger in dieser Zeitschrift 1917 S. 187 angegeben. Die günstigsten Gefällhöhen berechnen sich daraus je nach der Wassermenge zwischen 8 und 15 m. Geht man unter Benutzung von vorhandenen Geländeformen auf höhere, maschinentechnisch günstigere Gefälle über, so muß man ein Mehr an Massen mit in den Kauf nehmen. Bei der Mittleren Isar z. B. treffen bei der im Bau befindlichen Anlage mit konzentrierten Gefällstufen unter Anschmiegung an das Gelände auf 1 PS ausgebaute Leistung 120 cbm Bodenbewegung gegenüber 70 cbm bei Ausführung mit mehr Stufen, also 50 cbm/PS mehr. Dazu kommt ein Mehr an Eisen für die gewaltigen Druckrohre, an Beton für die Auskleidung der längeren Kanalstrecken und dergl.

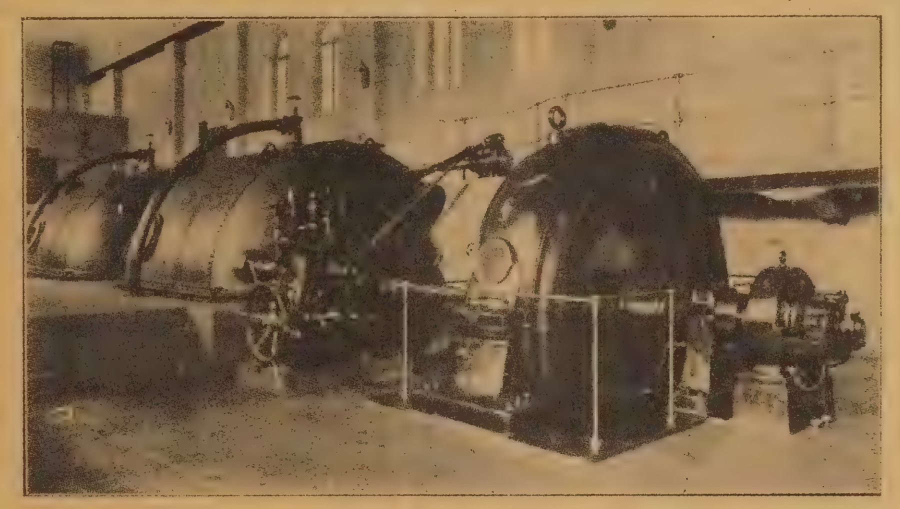


Abb. 5. Maschinensatz des Elektrizitätswerks Rosenheim, von der Generatorseite gesehen.

Bei gegebenem oder nach dem Grundsatz des Kostenmindestmaßes und der Leistungshöchstmaße ermitteltem Gefälle kann die Verbilligung nur in der Kraftwerkanordnung gefunden werden, die selbst wieder von der gewählten Turbinengattung und Einbauart bestimmt wird. In beidem befinden wir uns nach einer Zeit der Ruhe und des Gewohnten wieder in einer Zeit des Suchens.

Beim Entwurf von Wasserkraftanlagen mit niedrigem und mittlerem Gefälle stehen zwei Ausführungen zur Verfügung, deren jede heute von ihrem Anhängerkreis verfochten wird: die liegende Mehrfachturbine in offener Kammer mit verhältnismäßig hoher Drehzahl, gekuppelt mit einem Generator normaler und daher billiger Bauart, und die stehende Einfachturbine mit entsprechend geringerer Drehzahl (z. B. der Hälfte gegenüber einer liegenden Vierfachturbine) im Betonspiralgehäuse, gekuppelt mit einem Schirmgenerator mit oder ohne Zahnradzwischengetriebe. Im ersteren Fall ist die Turbine teuer und der Generator billig, im zweiten Fall ist umgekehrt die Turbine billig, aber der Generator als langsamlaufendes Spezialmodell sehr teuer. Bekannte Vertreter der ersten Gattung sind z. B. die Rhein-Kraftwerke Augst und Wyhlen[1]), sowie eine Anzahl deutscher und nordischer Kraftwerke (Untra-Werk), während für die zweite Ausführungsart die Schweiz in der letzten Zeit mehrfach Beispiele geliefert hat, so die Großanlagen Gösgen[2]) a. d. Aare, Eglisau[3]) und Mühleberg[3]). Auch die Kraftwerke der Mittleren Isar[4]) gehören, zum Teil allerdings unter Verwendung von Blech-Spiralgehäusen und Druckrohrleitungen, zur zweiten Gattung. Nach der Richtung der Einsparung an Baukosten hin bei Horizontalturbinen im offenen Einbau bewegen sich die bekannten Vorschläge Hallingers[5]), wovon aus der letzten Zeit besonders auf die versetzte Aufstellung mit gegen die Kanalachse schräg liegendem Maschinenhaus[6]) verwiesen sei.

Zur Verbilligung der Bauart mit stehenden Einfachturbinen ist in letzter Linie möglichst hohe Drehzahl der Maschinen und damit geringer Gehäusedurchmesser der Schirmgeneratoren anzustreben, da der Mittenabstand der Maschinen und die Breite des Krafthauses hauptsächlich vom Generatordurchmesser bestimmt wird. Man kann entweder die Turbine schneller laufen lassen und zur Kaplanturbine[7]) übergehen, für die bei einer Probe[8]) mit einem 1800 mm-Laufrad im Elbekraftwerk zu Poděbrad unter Kontrolle des čecho-slowakischen Ministeriums für öffentliche Arbeiten bei einer spezifischen Drehzahl von rd. 810 sowie bei großen schwedischen Ausführungen mit bis zu $n_s = 1050$ Wirkungsgrade bis rd. 88 vH vorliegen, und die in Großausführung u. a. beim schwedischen Kraftwerk am Lilla Edet (von Verkstaden, Kristinehamm) verwendet wird. Man bekommt damit zwar einen kleineren Generator, aber die Unzugänglichkeit der Turbine, an die der Maschinenhauskran erst nach Abbau des Generators herankommen kann, bleibt unverändert. Immerhin wird die Bedeutung der Kaplanturbine nach der Richtung auf Verbilligung der Gesamtanlage hin immer mehr gewürdigt[9]).

Der zweite, neuerdings beschrittene Weg läßt die Turbine unverändert, wählt sogar Normalläufer mit günstigster Wirkungsgradkurve und legt zwischen Turbine und Schirmgenerator ein ins Schnelle übersetzendes Zahnradgetriebe mit einem Übersetzungsverhältnis bis zu etwa 1 : 15. Diese Lösung[10]), die besonders von F. Schichau bearbeitet wird, verlegt die Generatorachse um die Summe der beiden Zahnradhalbmesser seitlich (wasserabwärts) von der Turbinenachse. Der Mittenabstand der Maschinensätze wird zufolge der kleineren Generatordurchmesser allerdings verringert, die Breite des Maschinenhauses aber kaum. Die Zugänglichkeit der Turbine wird nicht gebessert, denn an Stelle des Generators muß nun das Getriebe — wenn auch als Ganzes — zuerst herausgenommen werden, und beim Wiedereinsetzen hat man 2 Paßstellen zusammenzuschließen, nämlich die Kupplung des großen Zahnrades mit der Turbinenwelle und die Achse des Ritzels mit der Generatorwelle.

Man strebt neuerdings mit Recht danach, möglichst alle Teile der elektrischen Ausrüstung des Kraftwerkes, also Gene-

[1]) Schweizerische Bauzeitung Bd. 62 1913 und Bd. 63 1914.
[2]) ebenda Bd. 75 1920 bes. Heft 16.
[3]) ebenda Bd. 74 1919 und Z. f. d. g. Turbinenwes. 1920 Heft 36 S. 312.
[4]) Elektro-Journal 1922, Sonderheft z. Elektr. Woche München, Heft 5 S. 135.
[5]) Z. 1917 S. 187, 1918 S. 481.
[6]) Z. f. g. Turbinenwesen 1919 Heft 19 S. 185 (D. R. P.).
[7]) Z. 1921 Heft 40, 41 S. 1035, 1066; Budau in „Wasserkraft" 1922 Heft 11 S. 196; „Elektrotechnik und Maschinenbau" Wien 1922 Heft 2 S. 14.
[8]) Z. d. d. Wasserw. und Wasserk. Verb. 1922 Heft 2 S. 30, genauer Versuchsbericht in Zpráv veřejné služby technické 1922 Heft 4 v. Prof. Dr. Hýbl.
[9]) Vgl. B. B. C.-Mitteilungen 1921 Heft 4 S. 60.
[10]) Z. 1922 Heft 28/29 S. 716; 1923 Heft 18 S. 444.

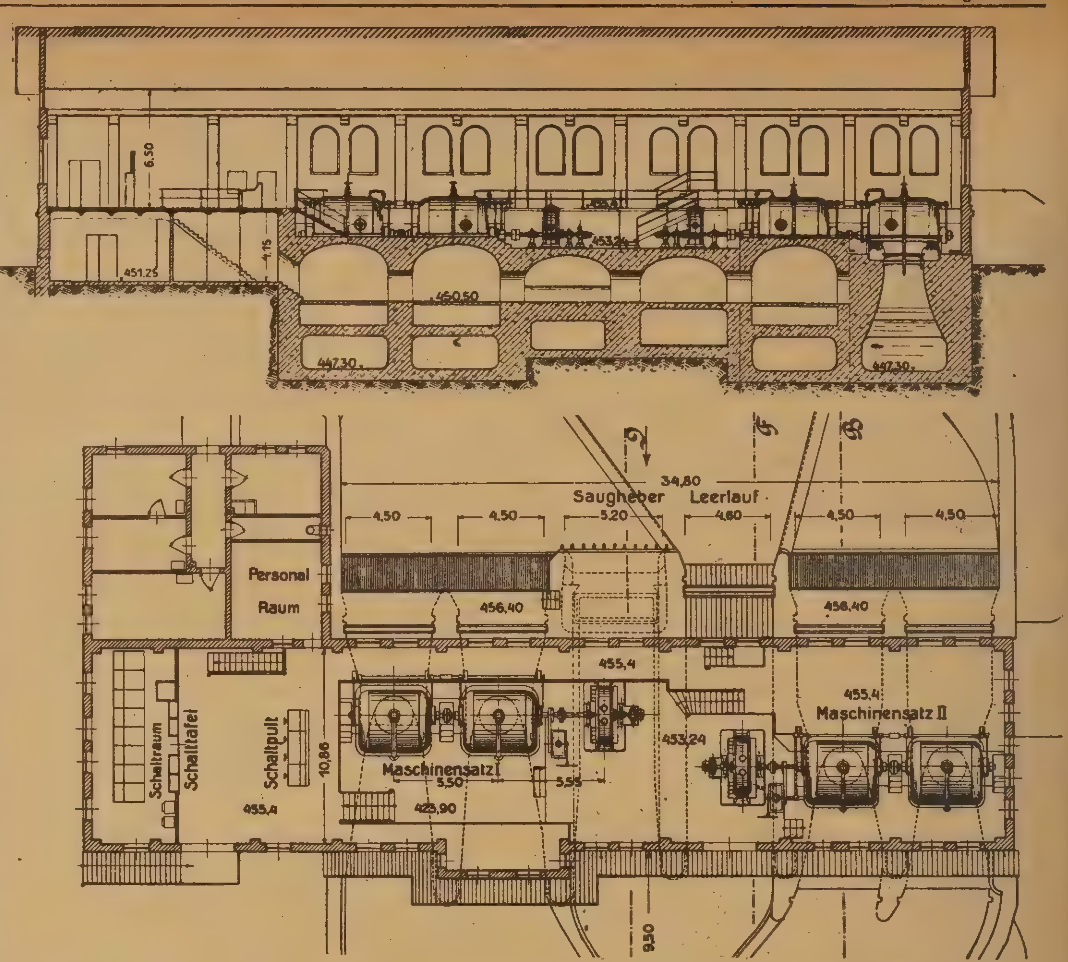


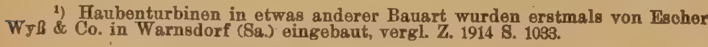
Abb. 1 bis 4. Elektrizitätswerk Rosenheim.

ratoren, Transformatoren und große Ölschalter, in den Bereich eines Laufkranes zu bringen, der Maschinenhalle und Werkstatt bestreicht. Wagerecht eingebaute Turbinen in allen üblichen Anordnungen mit im Freien liegenden Turbinenkammern sind dem Maschinenhauslaufkran unzugänglich und bedingen einen eigenen Bockkran. Stehende Turbinen sind, wie erwähnt, vom Laufkran eigentlich nur bei der ersten Montage, solange der Generator noch nicht steht, frei bedienbar, und bei Verwendung der Zahnradvorgelege ist dieser Übelstand nur zum Teil behoben. Es liegt also nahe, eine Lösung zu suchen, die den Vorzug der höheren Drehzahl einer liegenden Mehrfachturbine mit der leichten Zugänglichkeit für das Hebezeug und mit möglichster Raumersparnis sowohl an überbautem Raum, wie an Achsenabstand und an Breite und Tiefe des Fundamentes vereinigt. Eine solche Lösung liegt in der Verwendung von „Haubenturbinen"[1]), wie sie von Hallinger mehrfach bei Kraftwerkbauten der letzten Jahre angeordnet worden sind. Hier befinden sich außer dem Rechen keine Teile der ganzen hydraulischen Ausrüstung außerhalb des Maschinenhauses, auch die Schützen liegen meist in demselben; die Turbinen stehen nach Abheben ihrer ungefähr ⅜ eines Zylindermantels umfassenden Blechhauben völlig frei im Maschinenhaus. Der Raum wird insbesondere bei Anlagen mit mehreren Maschinensätzen infolge gegenseitigen Versetzens der Achsen sehr günstig beansprucht, und das Maschinenhaus bietet ein wenn auch in Einzelheiten ungewohntes, übersichtliches und klares Bild, wozu gegenüber stehenden Turbinen der Wegfall einer Unterkellerung oder eines Zwischenbodens bei trotzdem hoher, hochwasserfreier Lage des Maschinenflures kommt.

Anlage Rosenheim.

Von den nach Entwürfen und unter Leitung Hallingers ausgeführten Anlagen der letzten Jahre sei, nach der Reihenfolge der Entstehung, zunächst der Umbau des städtischen Elektrizitätswerkes Rosenheim (Abb. 1 bis 5) an der Mangfall dargestellt. Das Werk enthielt früher drei stehende Francisturbinen von je 250 PS, die über Kegelräder die Einphasengeneratoren antrieben, sowie in der landseitigen Verlängerung des Maschinenhauses 2 stehende, mit Generatoren gekuppelte Verbunddampfmaschinen von ebenfalls je 250 PS, während sich nach der Gegenseite ein Leerschuß anschloß. Beim Umbau der Anlage, wobei von vornherein auf eine Speicherungsmöglichkeit im langen Oberwasserkanal zur Spitzendeckung und auf die sich daraus ergebenden Schwankungen des Nutzgefälles zwischen 6,00 und 7,00 m Rücksicht zu nehmen war, mußte nach Möglichkeit mit den bestehenden Bauteilen ein Auskommen gefunden werden, die Dampfanlage konnte in Wegfall kommen. Der Gesamtausbau wurde für eine Höchstwassermenge von 27 m³/s, entsprechend einer Leistung von 1728 PS, festgelegt. Als günstigste Lösung ergab sich die Verwendung von 2 Doppel-Zwillingsturbinen für je 13,5 bis 9,0 bis 10,0 m³/s bei den zugehörigen Gefällen von 6,00 bis 6,40 bis 7,00 m und den Leistungen von 864, 600, 740 PS bei 250 Umdrehungen, also einer verhältnismäßig hohen, für unmittelbare Kupplung mit den Generatoren geeigneten Drehzahl ohne Zahnradvorgelege. Die Turbinen liegen unter Schmiedeisenhauben im Maschinenhaus derart, daß die eine Doppel-Zwillingsturbine die alten Turbinenkammern I und II ausfüllt, während der zugehörige Generator an der Stelle der alten Turbine III steht, deren Kammer zu einem Saugüberfall der Bauart Heyn umgestaltet wurde (Abb. 1). In der Länge entspricht der neue Maschinensatz von 864 PS Höchstleistung samt Saugüberfall somit dem früher von 750 PS Gesamtleistung eingenommenen Raum, wogegen in der Breite, wie aus dem Grundriß ersichtlich, etwa die Hälfte des früher nötigen Raumes freibleibt, bei einem Neubau also eine wesentliche Ersparnis möglich gewesen wäre. Für den zweiten Maschinensatz wurde durch Überbauung des alten Leerlaufes, Verbreiterung des Vorbeckens und Verlängerung des Maschinenhauses Platz geschaffen derart, daß nach der bekannten Hallingerschen Anordnung die Achsen beider Maschinensätze parallel zueinander versetzt sind, um an Längenentwicklung zu sparen. Unter dem Generator II geht der Leerschuß, der auch zum Spülen dient, durch.

Die beiden gleich ausgeführten Turbinen, deren Wellenmittel ungefähr auf Flurhöhe liegt, sind aus je zwei gleichen Zwillingsturbinen mit Betonsaugrohr zusammengebaut, die durch Blechhauben abgedeckt werden. Jede Haube zusammen mit ihren beiden gußeisernen Stirnringen bildet ein Ganzes, das auf den im Mauerwerk eingelassenen Gußrahmen abhebbar aufgeschraubt ist. Die Regulierteile liegen auf der Luftseite, so daß sowohl für Montage wie auch für die Nachschau und Instandhaltung die denkbar größte Bequemlichkeit geboten ist. Da die Turbinen mit hochgesaugtem Oberwasser arbeiten, sind zum Anfahren Entlüftventile mit Absaugrohren angeordnet. Die Lager und Reguliergetriebe sind in Gruben, Abb. 5, leicht zugänglich. Der Regler jeder Gruppe sitzt am Kupplungsende des Turbinensatzes und hat gesonderte Riemenantriebe für Ölpumpe und Pendel auf gleicher Höhe wie der Generator, also um



[1]) Haubenturbinen in etwas anderer Bauart wurden erstmals von Escher Wyß & Co. in Warnsdorf (Sa.) eingebaut, vergl. Z. 1914 S. 1033.

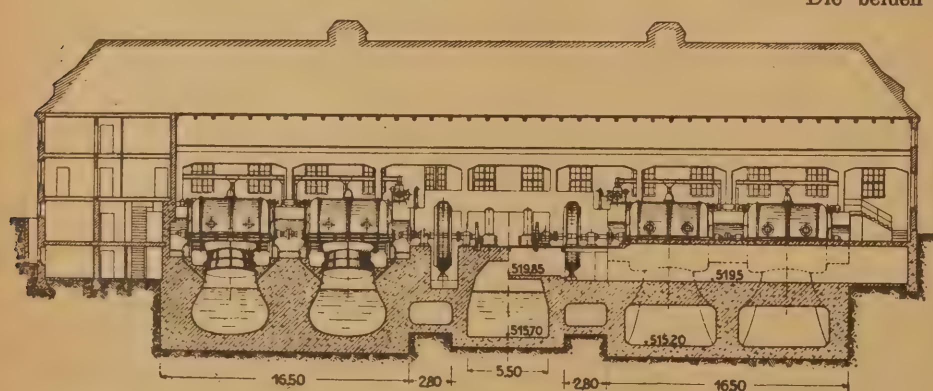


Abb. 6 bis 9. Südwerk II der Stadt München, Abb. 6 Längenschnitt 1:500.

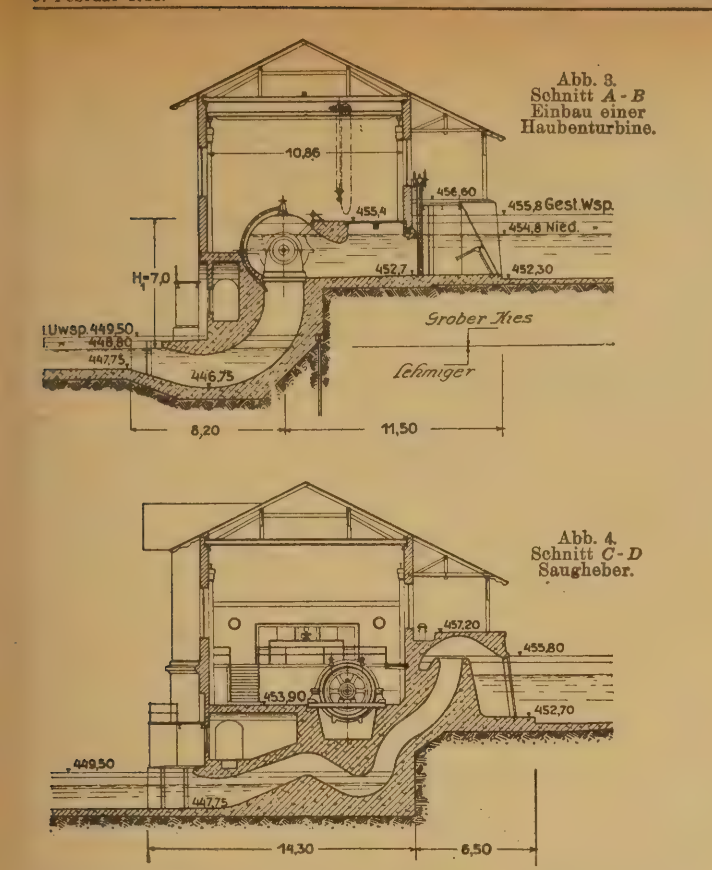


Abb. 3. Schnitt *A-B* Einbau einer Haubenturbine.

Abb. 4. Schnitt *C-D* Saugheber.

0,66 m tiefer als Turbinenflur. Durch die Tiefersetzung der Generatoren gegenüber den Turbinen, die sehr sauber aussieht, ist einerseits für die Turbinenhaube eine günstig gelegene Teilfuge annähernd in Achsenhöhe und anderseits für den Generator eine gute Zugänglichkeit erreicht. Die Reglerwellen liegen auf der Oberwasserseite der Turbinen, vergl. Abb. 1, auf einem in Höhe des alten Maschinenhausbodens verlaufenden Podest, unter dem sich die Einläufe zu den Turbinen befinden. Das Innere des Kraftwerkes ist bei dieser Anordnung von außerordentlicher Übersichtlichkeit und ruhiger Wirkung, wie ein Blick auf Abb. 5 erkennen läßt. Raum zum Abstellen von Maschinenteilen bei Demontagearbeiten ist genügend vorhanden. Es wurde bereits darauf hingedeutet, daß bei einem vollständigen Neubau noch wesentlich an Breite des Maschinenhauses wie auch etwas an Länge hätte gespart werden können, und es darf nicht vergessen werden, daß eben die Form des alten Maschinenhauses auch für den neuen Anbau beizubehalten war. Trotzdem hat der Vergleich mit den verschiedenen anderen Ausführungsmöglichkeiten für die gewählte Verwendung von Doppelzwillings-Haubenturbinen die geringsten Maschinengewichte und Bauaufwendungen ergeben, und diese außerordentlich ins Gewicht fallenden Umstände zusammen mit den günstigsten Betriebserfahrungen — die neue Anlage in Rosenheim läuft seit November 1920 störungslos, und zwar mußte die Turbine II im neuen Teil während des alten Teiles 8 Monate lang allein die Stromlieferung übernehmen und diese Zeit ohne Abstellen durchlaufen — ließen die Anwendung der Haubenturbinen auch für Hallingers Entwürfe zu den neuen Wasserkraftwerken der Städtischen Elektrizitätswerke München-Süd II und Süd III geeignet erscheinen und sicherten ihnen den Vorzug bei der Ausführung. Das erstere Werk ist mittlerweile ebenfalls in Betrieb gekommen, das zweite steht im Bau.

Das Südwerk II der Stadt München.

Das Südwerk II nutzt eine bisher tot gelegene Isargefällstrecke in dem linksseitigen, vor der Stadt aus der Isar abzweigenden Stadtbach bei einer Wasserführung von 70 m³/s mit einem Gefälle von 4,2 bis 4,4 m aus. Der Bau mußte so eingerichtet werden, daß im Interesse der zahlreichen Unterlieger das Wasser unter keinen Umständen auch nur vorübergehend zurückgehalten werden kann. Man entschied sich auch hier für 2 Doppel-Zwillingsturbinen in Hauben mit hochgesaugtem Oberwasser für je 37,4 m³/s bzw. 1760 PS bei 125 Uml./min. Zum Unterschiede von der Anlage Rosenheim wurden hier jedoch beide Sätze in einer Achse, Abb. 6 bis 9, aufgestellt, wodurch sich ein zwar langgestrecktes, aber schmales Gebäude ergibt. Das Wellenmittel liegt nur 0,25 m über Flur. Die gußeisernen Doppelkrümmer der Turbinen von 3600 mm Auslaufdurchmesser sind schrägliegend eingebaut, an die Leitraddeckel schließen sich mit gußeisernen Stirnringabschnitten, deren Halbmesser 2400 mm beträgt, die Blechhauben an. In ähnlicher Weise wie bei den Rosenheimer Turbinen sind hier Entlüftventile eingebaut, die von der Luftleere im Saugrohr betätigt werden und von Hand absperrbar sind. Oberwasserseitig legen sich die Kessel mit schräger Teilfuge auf den Einlauf, Abb. 8, dessen Decke ein etwa 2 m über dem Turbinenflur liegendes und an mehreren Stellen durch Treppen zugängliches Podest bildet, das durch die ganze Länge des Maschinenhauses läuft und die Windwerke der innerhalb des Hauses angeordneten Einlaufschützen trägt, Abb. 7. Die Verlegung der Einlaufschützen ins Gebäude wurde des Frostes halber gewählt. Die Schützen werden durch Elektromotoren betätigt, in die Windwerkantriebe sind Kupplungen eingebaut, deren Klinken sowohl durch Seilzug wie auch selbsttätig bei Überschreitung der Drehzahl mittels eines am Generatorwellenende angebauten Fliehkraftschalters ausgelöst werden, womit ein Durchgehen der Turbinen auch bei Reglerstörungen verhindert ist. Die Turbinen sind mit außenliegenden Regelringen und Lenkern ausgerüstet, die an den durch Stopfbüchsen austretenden Schaufeldrehzapfen angreifen und von Bedienungsgruben aus frei zugänglich sind. Die Generatoren sind an den einander zugekehrten Enden der Turbinen in der Mitte der Halle auf einem um 0,55 m vertieften Flur aufgestellt und mit den Turbinenwellen starr gekuppelt. Auf dem vorderen freien Wellenende sitzen die Antriebscheibe für die Ölpumpe und der Fliehkraftschalter. Die beiden Geschwindigkeitsregler stehen links und rechts auf dem erhöhten Podest in der Mitte des durch einen Vorbau verbreiterten Gebäudes, das den Schaltpult für die Bedienung der elektrischen Anlage aufnimmt. Gegenüber dem Schaltpult, also unterwasserseitig, ent-

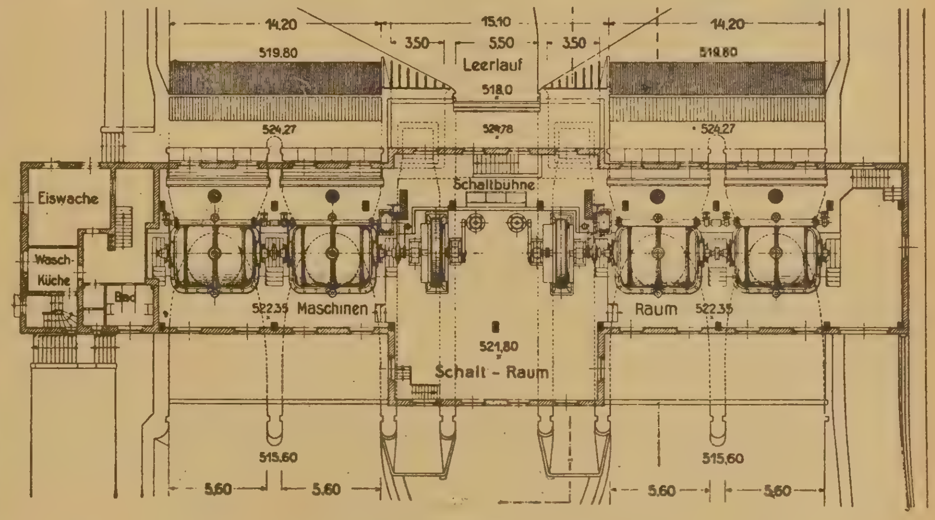


Abb. 7. Grundriß. 1:500.

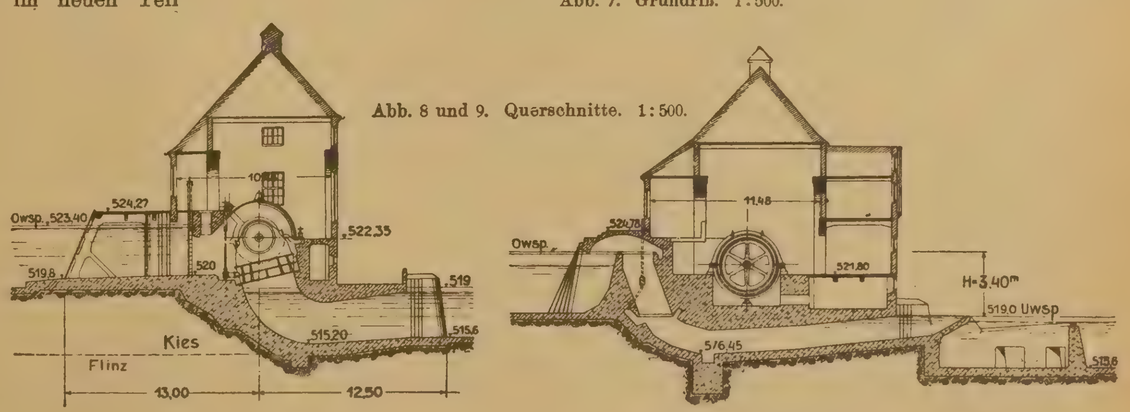


Abb. 8 und 9. Querschnitte. 1:500.

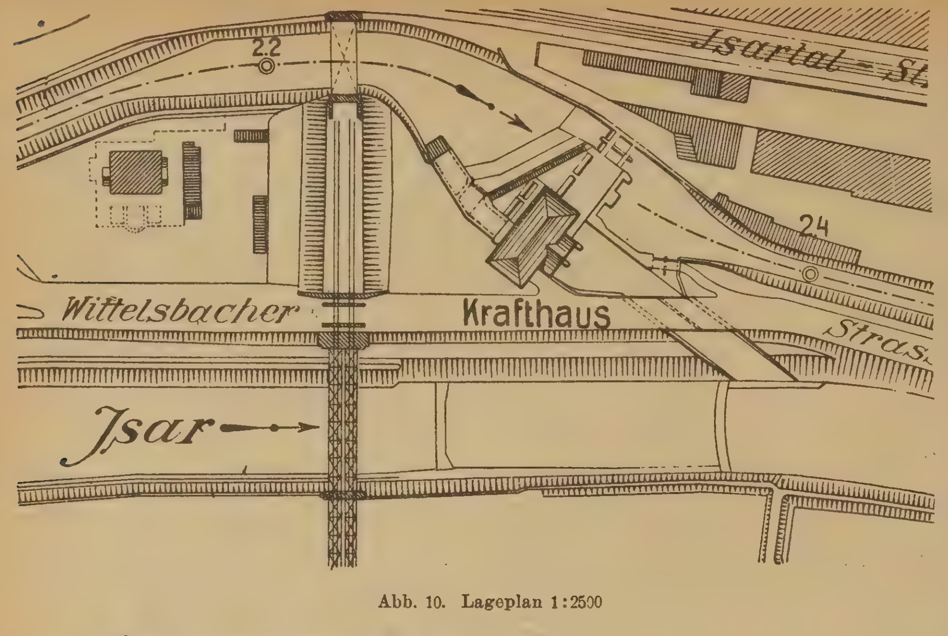


Abb. 10. Lageplan 1:2500

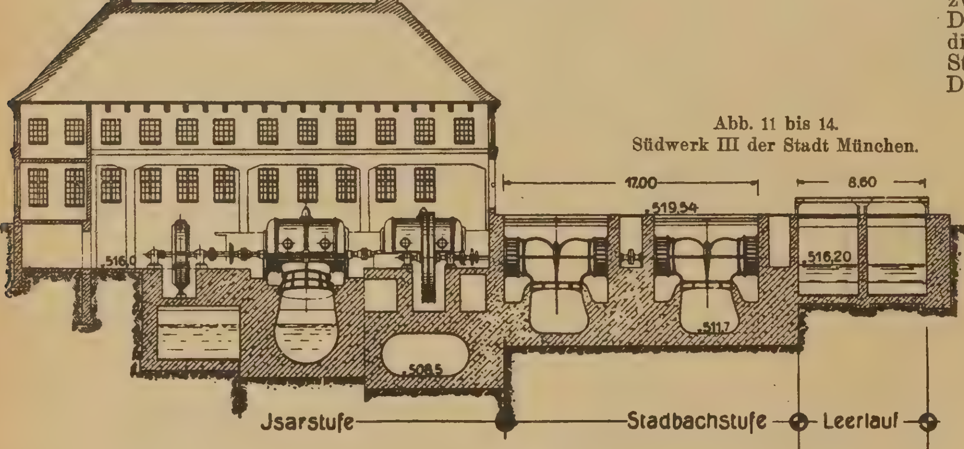


Abb. 11 bis 14.
Südwerk III der Stadt München.

Abb. 11. Längsschnitt 1:500.

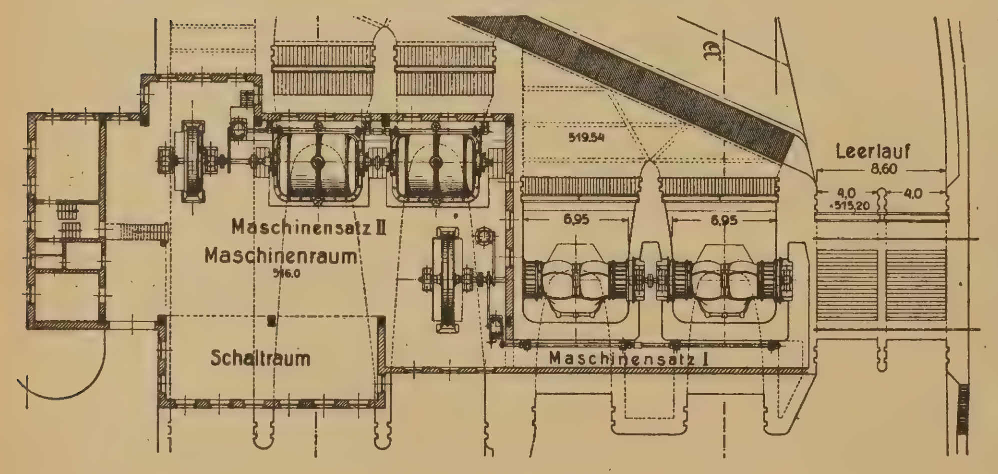


Abb. 12. Grundriß 1:500.

hält ein Vorbau die Schaltanlage und die Drehstrom-Gleichstrom-Umformer für die Erregung der Generatoren. Die Übersicht über die rd. 48 m lange und einschließlich des Vorbaues für die Einlaufschleusen nur 10,5 m breite Halle, die von einem Laufkran mit elektrischem Hubwerk und handbetätigtem Fahrwerk bestrichen wird, ist trotz der geringen Breite gut. Der Raum unter den beiden Generatoren und unter dem Schaltanbau wird in der Mitte durch eine Spül- und Leerlaufschütze eingenommen, an die zu beiden Seiten je ein Saugheber mit einer Saugfähigkeit von 14 m³/s sich anschließt. Zur Beruhigung des aus dem Leerschuß und aus den Saughebern austretenden Wassers ist wasserabwärts ein Tosbecken vorgebaut, dessen Krone etwas unter dem Wasserspiegel liegt und das einen Überfall mit unter Wasser liegenden Abflußöffnungen bildet. Das langgestreckte Gebäude paßt sich der Umgebung mit den alten Bäumen in einer bevorzugten Lage Münchens in seiner Einfachheit sehr gut an. Die Baugrundfläche beträgt rd. 600 qm, oder für eine installierte Leistung von 3000 PS einschließlich des Raumes für die Schützen nur 0,2 m²/PS, ist also für ein Niedergefällwerk außerordentlich gering zu nennen. Bei den heutigen Arbeitslöhnen stellt schon der Vorteil der außerordentlich leichten ersten Montage der Gesamtanlage einschließlich Turbinen in geschlossenem, wettergeschütztem Raum ohne vorläufige Rüstzeuge eine beträchtliche Einsparung an Zeit und Geld dar, zumal wenn man die Schwere und Größe der Turbinenteile bedenkt; dieser Vorteil wiederholt sich bei jeder inneren Revision der Turbinen, die nach Abheben ihrer Hauben offen im Maschinensaal liegen.

Das Südwerk III der Stadt München.

In ähnlicher Weise wird unterhalb des eben beschriebenen Werkes das Südwerk II zur Ausnutzung einer zweiten bisher toten Gefällstrecke ausgeführt. Der sogenannte große Stadtbach, das Unterwasser der Anlage Süd II, wies ein erhebliches Gefäll auf. Der Unterwasserkanal vom Südwerk II führt 70 m³ Wasser zu und der Stadtbach unterhalb des Südwerkes III nur 35 m³/s. Es findet also eine Wasserteilung statt, so daß eine Gefällstufe zum Stadtbach und eine zweite nach der vorbeifließenden Isar führt. Die erste Stufe im Stadtbach hat 2,5 m Gefäll, die zweite gegen die freie Isar hin ausgießende Stufe 5,0 m Gefäll bei gleicher Wassermenge. Die örtliche Lage führte zu der aus Abb. 12 ersichtlichen, in andern Entwürfen Hallingers mit offen eingebauten Turbinen bereits vorkommenden Aufstellung der beiden Maschinensätze, deren Achsen parallel zueinander versetzt sind (D.R.P.). Die beiden Schnitte, Abb. 13 und 14, durch die verschiedenartigen Turbinensätze zeigen die Stadtbachturbine in einem Betongehäuse außer- und die Isarturbine unter einer Blechhaube innerhalb des Maschinenhauses mit hochgesaugtem Oberwasserspiegel und unter ähnlichen Konstruktionsgrundsätzen wie beim Südwerk II. Die Gruppe für 5,6 m Gefäll leistet bis zu 2080 PS bei 150 Umdrehungen mit einem neuen Generator, die andere 900 PS bei 83 Umdrehungen mit einem vorhandenen Generator dieser Leistung, der die geringe Drehzahl bestimmte. Das wasseraufwärts von den beiden Turbinengruppen gebildete Dreieck wird durch den Feinrechen abgeschlossen. Die gewählte Grundrißlösung bildet, abgesehen von den rein technischen Vorteilen des geringen Aufwandes und zwangloser, auf andere Art schwer erreichbarer Teilung des Zuflusses nach den dem Straßenverkehr zugewendeten Seiten hin das Bild eines in sich geschlossenen Ganzen ohne Maschinenhaus-Beigeschmack, wie ihn der sonst kaum vermeidbare Anblick von Rechen und Schützenzügen in der nächsten Nähe von Anlagen nicht wünschen läßt. Hier ist einmal der Fortfall der Überbauung der Turbinen und die Anwendung der Haubenturbinen im Innern des Hauses auch unter Forderungen architektonischer Natur, die in manchen ähnlich gelagerten Fällen an landschaftlich oder städtebaulich zu berücksichtigenden Punkten zur Nachahmung anregen, gelöst. Dieser letztere Gesichtspunkt hat gerade beim Südwerk III besonders für die Anwendung der Bauart Hallinger gewirkt. Hier an der Verzweigungsstelle eines Kanales ist die Aufstellung der Turbinen quer zur Strömung die beste Lösung zur Erzielung der geringsten Baumassen in den Fundamenten, was um so wichtiger war, als die Untergrundverhältnisse nicht günstig waren.

Beide beschriebenen Neuanlagen der städtischen Elektrizitätswerke München sind außer durch ihre Anordnung auch noch dadurch von Interesse, daß sie zeigen, wie unter dem Zwang der Kohlennot Kräfte ausgenutzt werden können, die bisher durch übermäßig große Rinngefälle, sogar zum Teil durch eigene Maßnahmen zur Vernichtung des Gefälles (Absturzbauwerke), aufgezehrt werden mußten. Man wird mehr und mehr lernen, den früheren Raubbau an Energie ins Gegenteil zu verwandeln, und es lassen sich bei eifriger Umschau sowohl in Wasserläufen wie in Wasserversorgungsanlagen sicher noch manche Kraft-

quellen finden, deren Ausbau unter den heutigen Wärmepreisen ertragreich ist[1]).

Die beiden Werke Süd II und III kosten zusammen 2 Milliarden und leisten jährlich 18 000 000 kWh. Es lag nahe, die nur 1,5 km von einander entfernt gelegenen beiden Werke in einer Gefällstufe zu vereinigen. Bei der Vereinigung hätten aber wertvolle Anlagen geopfert und Dämme in nächster Nähe der Stadt geschüttet werden müssen, außerdem hätte sich rechtlicher Verhältnisse halber und wegen der Ablösung die Betriebseröffnung auf den Herbst 1923 verschoben. Durch die Teilung konnte aber das Südwerk II sofort gebaut und im Sommer 1922 in Betrieb genommen werden. Damit wurde an Kohle ein Aufwand von 4 Milliarden gespart, der den Bauaufwand für beide Werke reichlich deckt. [A 1524]

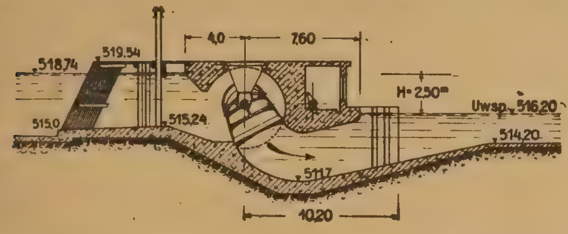


Abb. 13 und 14. Querschnitte 1:500.

[1]) Vergl. Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1919 Heft 27 S. 281 u. f., ebendort 1920 Heft 32 S. 379 und „Wasserkraft" 1922 Heft 16 S. 294 u. f.

Die württembergischen Wasserkraftanlagen an der Iller.

In einem Vortrag im Bodensee-Bezirksverein in Ravensburg berichtete im November 1923 Reg.-Baumeister Christaller, Bieberach, über den Ausbau der Illerwasserkräfte. In aller Stille ist der Ausbau auf der württembergischen Seite begonnen und inzwischen so weit gefördert worden, daß heute eine Stufe im Betrieb, eine andre beinahe fertiggestellt ist und für eine dritte der Baubeschluß nahe bevorsteht.

Die Wasserführung der Iller ist, verglichen mit Neckar und Donau, günstig; sie hat im Gegensatz zu diesen hohe Sommerwasserstände. Trotzdem wurde die Iller mit Ausnahme der Gegend von Kempten (Baumwoll- und Papierindustrie) bisher nur wenig ausgenützt. Der bei Kirchdorf nach Linz abzweigende Kirchdorfer Kanal treibt eine Reihe kleinerer Werke von zusammen etwa 200 PS Nutzleistung. Unterhalb Kellmünz zweigt der Altenstätter Kanal und dann noch weiter unten der Illerkanal nach rechts ab. An diesen Kanälen sind eine größere Zahl kleinerer bis mittlerer Wasserkräfte für die Industrie ausgenutzt.

Der Hauptgrund für die geringe Ausnutzung der Iller ist der Umstand, daß sie auf 60 km Länge Grenzfluß zwischen Württemberg und Bayern ist. Weitere Gründe waren früher die starke Verwilderung des Unterlaufes, der infolge der seit einigen Jahrzehnten erfolgten Korrektion eingedämmt wurde; ferner die Ablegenheit der Iller von den Industriegebieten, die aber bei der heutigen Fernübertragungstechnik keine große Rolle mehr spielt.

Der erste größere Ausbauplan im Zusammenhang mit der Elektrisierung der württembergischen Eisenbahnen wurde mit Kriegsbeginn zurückgestellt, und die Ausnutzung der Iller wurde unter gewissen Bedingungen den Oberschwäbischen Elektrizitätswerken (OEW) überlassen. Durch einen Staatsvertrag zwischen Württemberg und Bayern wurde festgelegt, daß Württemberg die Strecke von der Landesgrenze bis zum Filzinger Wehr unterhalb Kellmünz, Bayern dagegen die Strecke von Kellmünz bis Ulm ausnutzen solle. Im Dezember 1918 erhielten die OEW das Wasserausnutzungsrecht für die beiden oberen Illerstufen, und im Verlauf der Jahre infolge ihres ständig wachsenden Kraftbedarfes noch die Baugenehmigung für die Illerstufe 3 sowie unter gewissen Bedingungen auch für die Illerstufe 4.

Im Sommer 1919 wurde mit dem Bau der Stufe 2 mit dem Kraftwerk Tannheim begonnen, da für diese Stufe die Vorarbeiten sowie der Grunderwerb am weitesten vorangeschritten waren. Die erste Illerstufe, Aitrach, für die verschiedene Ausführungen möglich sind, ist heute noch nicht baureif. Die Illerstufen 2 bis 4 bilden eine Betriebseinheit; sie haben ein gemeinsames Wehr bei Mooshausen und einen gemeinsamen 20 km langen Kanal. Ein Speicherbecken unmittelbar oberhalb des Krafthauses von Stufe 2 ermöglicht im Zusammenhang mit einem Gegenbecken bei Stufe 4 einen Spitzenbetrieb der Stufen 2 und 3 während einiger Stunden des Tages. Die Gesamtleistung der Stufen 2 bis 4 beträgt im Jahresmittel 22 100 PS bei 49 m Nutzgefälle, die absetzbare Energiemenge bei 5000stündiger Ausnutzung 74 000 000 kWh.

Das Wehr bei Mooshausen, das die Iller um 5,5 m anstaut, wurde in drei Bauabschnitten ausgeführt. Die Baugruben waren mit Betonfangdämmen abgeschlossen und erforderten infolge des undurchlässigen Flinzuntergrundes beinahe keine Wasserhaltung. Das Wehr hat zwei Grundablässe von 10 m Breite und 5,5 m Höhe, die mit doppelteiligen Rollschützen der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg verschlossen sind, außerdem zwei Öffnungen von 30 m Breite und 4 m Höhe, die mit Walzenwehren von derselben Firma abgeschlossen sind. Die dem Wasserangriff ausgesetzten Wehrteile sind mit Granit abgepflastert. Das Sturzwehr hat an seinem Ende einen 6 m tiefen Betonsporn. Die Tiefbauarbeiten für das Wehr wie auch für den anschließenden Kanal und das Krafthaus Tannheim wurden von der Firma Baresel, Stuttgart, ausgeführt.

Links vom Wehr befindet sich ein 54 m breiter Kanaleinlauf mit Grobrechen und 9 Holzschützen. Der Oberwasserkanal erweitert sich bei km 4,8 zu dem erwähnten Speicherbecken, das eine Fläche von 165 000 m² bedeckt. Am Ende des Speicherbeckens befindet sich das an einer natürlichen Kiesterrasse gelegene Krafthaus, das drei Einradturbinen von Escher, Wyß & Cie., Ravensburg, mit senkrechter Welle enthält. Die Maschinen leisten bei 17,5 m Nutzgefälle zusammen annähernd 12 000 PS und sind mit darüber befindlichen Schirmdynamos der Siemens-Schuckert-Werke gekuppelt. Dem Krafthaus vorgelagert ist eine das Speicherbecken abschließende Betonstaumauer, die von drei 3,35 m weiten Entnahmerohren durchbrochen ist und einen Feinrechen sowie drei Turbineneinlauf-Schützen enthält. Rechts vom Maschinenhause befindet sich ein 6 m weiter Kaskadenleerschuß, links, im Winkel angebaut, das umfangreiche Schaltgebäude.

Der in den Dynamos mit 5000 V Spannung erzeugte Strom wird auf 55 000 V umgespannt und unter Zwischenschaltung eines Ölschalters dem doppelten Sammelschienensatz zugeführt. Zwischen Transformatoren und Ölschalter befindet sich je eine Petersenspule. Von den Sammelschienen gehen vorläufig 4 Leitungen mit 55 000 V in Richtung nach Ulm und nach Bieberach ab. Die Schaltanlage wurde von Voigt & Häffner, Frankfurt, geliefert.

Anschließend an das Krafthaus von Stufe 2 beginnt der Oberwasserkanal von Stufe 3, Unteropfingen. Bis zu deren Inbetriebnahme wird das Betriebswasser durch einen kurzen Stichkanal der Iller zugeführt. Die von der Tiefbau- und Eisenbeton-Gesellschaft ausgeführten Tiefbauarbeiten der Stufe 3 sind mit geringen Ausnahmen fertiggestellt. Der Kanal, der im allgemeinen betonierte Böschungen von 1 : 1½ Neigung und in seinem untern Teil Dämme bis zu 8 m Höhe aufweist, soll in den nächsten Wochen in Betrieb genommen werden.

Nördlich des Dorfes Unteropfingen, ebenfalls an einer Kiesterrasse gelegen, befindet sich das Krafthaus, das ähnliche Gefäll- und Leistungsverhältnisse wie das in Tannheim besitzt. Die drei Turbinen sind von J. M. Voith, Heidenheim, die drei Stromerzeuger von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin, geliefert. Der untere, tief eingeschnittene Kanal von Stufe 3, der vorläufig durch einen kurzen Stichkanal mit der Iller verbunden wird, dient später als Oberwasserkanal der folgenden Stufe 4.

Die Stufe 4 soll im Anschluß an Stufe 3 gebaut werden. Sie bildet mit einem Gegenbecken die notwendige Ergänzung für die beiden oberen Stufen. Ihr Nutzgefälle beträgt rd. 14 m. Trotz ihrer Speicherfähigkeit sind diese drei Illerstufen jedoch keine idealen Wasserkräfte. Infolge der sehr ungleichen Wasserführung der Iller entstehen zeitweise, besonders in den Sommermonaten, große, bis jetzt unverwertbare Überschüsse, während in den trockenen Herbst- und Wintermonaten, wo der Kraftbedarf am größten ist, nach wie vor das Dampfkraftwerk in Ulm der OEW einspringen muß. Die ungünstigsten Eigenschaften der Iller können jedoch verbessert werden, entweder durch Ausbau der Wasserkräfte des Argen oder der großen Speicherwasserkräfte in Vorarlberg, aus denen sich die OEW und das Land Württemberg durch Vertrag mit dem Land Vorarlberg einen gewissen Kraftanteil gesichert haben. Eine allerdings in ferner Zukunft liegende Möglichkeit besteht in der Anlage von Speicherbecken im oberen Illerlauf, die es gestatten würden, die Sommerhochwasser für die trockenen Herbstmonate teilweise aufzuspeichern.

Alle diese Zukunftspläne dürfen selbst unter dem Druck der jetzigen wirtschaftlichen Verhältnisse nicht aus den Augen gelassen werden. Sie bieten die Möglichkeit, die Elektrizitätsversorgung nicht nur des württembergischen Oberlandes, sondern die von ganz Württemberg von der Kohle unabhängig zu machen. [M 46]

Der Verbrennungsvorgang in der Kohlenstaubfeuerung.

Von Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Nusselt, Karlsruhe.

Der Vorgang der Verbrennung zerfällt in zwei Teile: Zuerst ist jedes eingeblasene Kohlenteilchen auf die Selbstentzündungstemperatur vorzuwärmen. Dies geschieht entweder durch Zustrahlung von der heißen Wand der Verbrennungskammer oder durch Zuleitung von Wärme aus den heißen Verbrennungsgasen, die den kalten durch den Brenner einströmenden Strahl des Kohlenstaub-Luft-Gemisches bespülen. Ist auf einem dieser beiden Wege ein Kohlenkorn auf die Entzündungstemperatur gebracht, so setzt der zweite Teilvorgang, die eigentliche Verbrennung, ein. Dieser wird als Diffusionsvorgang aufgefaßt. Durch die Anwendung des Gesetze des Wärmeüberganges und der Diffusion erhält man Formeln für beide Teilvorgänge und kann die Zündzeit und die Verbrennungsdauer des eingeblasenen Brennstoffes berechnen.

Die Kohlenstaubfeuerung, die in Amerika schon ziemlich verbreitet ist, findet neuerdings auch in Deutschland Aufnahme. Ich hoffe deshalb, daß einige Betrachtungen über den zeitlichen Verlauf der Verbrennung des eingeblasenen Kohlenstaubes Beachtung finden werden. Ist eine Kohlensorte schon durch ihren Namen und ihre chemische Zusammensetzung nur sehr mangelhaft bestimmt, so gehorcht ihre Verbrennung außerdem sehr verwickelten chemischen, thermischen und mechanischen Gesetzen, welche nur zum Teil geklärt sind. Dazu treten mathematische Schwierigkeiten bei der Auflösung der Differentialgleichungen. Man darf deshalb in den nachfolgenden Ausführungen nicht Ergebnisse von der Genauigkeit erwarten, die man sonst bei technischen Berechnungen leicht erreichen kann. In den bisherigen Abhandlungen über die Kohlenstaubfeuerung habe ich über den Vorgang der Verbrennung selbst nicht viel mehr als die Aussage gefunden, daß das eingeblasene Kohlenstaub-Luft-Gemisch in der sich hinter dem Brenner ausbildenden Flamme verbrennt. Gegenüber dieser Erkenntnis stellt meine neue Theorie einen wesentlichen Fortschritt dar, denn sie gibt eine Vorstellung von dem zeitlichen Verlauf der Verbrennung und zeigt, von welchen Größen die Möglichkeit und die Dauer der Verbrennung abhängen.

Bei der Kohlenstaubfeuerung wird der Brennstoff vor der Verwendung in der Feuerung fein gemahlen. Es liegt im Wesen des Mahlvorganges, daß die einzelnen Körner des Brennstoffpulvers sehr verschiedenen Durchmesser erhalten. Nach amerikanischen Angaben hinterläßt solcher Kohlenstaub auf einem Sieb von 4900 Maschen auf 1 cm^2 bei der heute üblichen Ausmahlung 10 vH Rückstände. Das durch das Sieb hindurchgehende Mehl hat die in der Zahlentafel 1 enthaltene Verteilung der Korngrößen. Aus dem Gewichtanteil der einzelnen Korndurchmesser wurde dann die in der letzten Reihe enthaltene Verteilung der Körnerzahl berechnet. Sie zeigt, daß die übergroße Mehrzahl der Körner sehr kleine Durchmesser hat.

Zahlentafel 1. Korngrößen des Kohlenstaubes.

Korndurchmesser d in $\mu = 0{,}001$ mm	60	50	40	30	20	10	5	2
Gewichtanteil vH	22,5	14,9	11,9	21,3	16,7	7,5	3,8	1,5
Anzahl der Körner in der Gesamtzahl vH	0,04	0,05	0,08	0,34	0,91	3,28	13,3	82,0

Bei den mir bekannten Ausführungen der Kohlenstaubfeuerung wird das Staubluftgemisch mit Raumtemperatur, also ohne Vorwärmung, eingeblasen. Damit aber die Verbrennung der Kohle einsetzt, muß die Kohle erst auf die Selbstentzündungstemperatur gebracht werden. Der Vorgang der Verbrenung in der Kohlenstaubfeuerung zerfällt also in zwei Teile. Im ersten Teile wird ein Kohlenkörnchen durch Wärmezufuhr von außen auf die Selbstentzündungstemperatur gebracht. Erst wenn diese erreicht ist, setzt der zweite Teil des Vorganges, die eigentliche Verbrennung, ein. Während der Vorwärmung auf die Selbstentzündungstemperatur bleibt der Korndurchmesser gleich; während der Verbrennung nimmt er bis auf Null ab.

Die Zündung des Brennstoffes.

Für die Verbrennung eines Brennstoffes in der Kohlenstaubfeuerung ist seine Selbstentzündungstemperatur oder, wie man auch sagt, sein Zündpunkt von großer Bedeutung. Man versteht darunter die Temperatur, auf welche die Kohle in Luft erhitzt werden muß, damit sie von selbst zu verbrennen beginnt. Leider hat diese Größe die Aufmerksamkeit der Forschung noch wenig auf sich gelenkt. Es sind mir nur zwei Versuchsreihen zur Bestimmung des Zündpunktes fester Körper bekannt. So findet Holm[1]) die in der Zahlentafel 2 enthaltenen Werte, die er allerdings selbst als unsicher bezeichnet. Neuere Versuche von Sinnatt und Moore[2]) ergaben die Werte der Zahlentafel 3. Die Selbstentzündungstemperatur der festen Brennstoffe liegt also viel tiefer als die der brennbaren Gasgemische, welche sich bei Temperaturen zwischen 500 und 600 °C von selbst entzünden. Nun habe ich an anderer Stelle[3]) nachgewiesen, daß fein verteiltes Eisenoxydpulver infolge seiner katalytischen Wirkung zwar eine langsame Verbrennung von Knallgas bewirkt, aber selbst bei 380 °C noch nicht seine Selbstentzündung ermöglicht. Daraus darf man wohl schließen, daß bei den niedrigen Selbstentzündungstemperaturen, die sich aus den Zahlentafeln 2 und 3 ergeben, die Verbrennung am festen Kohlenstoff beginnt, und daß sie nicht etwa durch die Selbstentzündung von gasförmigen Entgasungsprodukten eingeleitet wird, wobei der festen Kohle die Rolle des Katalysators zukäme.

Zahlentafel 2. Selbstentzündungstemperatur nach Holm.

Stoff	°C
Festes weißes Paraffin	310
Zellulose	360
Torf (lufttrocken)	280
Braunkohle (lufttrocken)	250
Steinkohle (böhm.)	390
Anthrazit	440

Zahlentafel 3. Selbstentzündungstemperatur nach Sinnatt und Moore.

Stoff	°C
Anthrazitkohle	258
Cannelkohle	230
Gaskoks	über 398
Holzkohle	248
Irischer Torf	300
Zellulose	324

Die Erwärmung eines Kohlenteilchens auf die Selbstentzündungstemperatur und damit die Einleitung der Verbrennung ist auf zwei Arten möglich. Ein Teil des eingeblasenen Kohlenstaub-Luft-Gemisches kann durch Wärmestrahlung von den heißen Wänden der Verbrennungskammer erwärmt werden. Der Hauptteil des Gemisches wird durch zugeleitete Wärme von bereits brennenden oder schon verbrannten Kohlenteilchen auf die Entzündungstemperatur gebracht.

Die Wärme, die im ersten Fall einem Kohlenkern von den heißen Wänden des Feuerraums zugestrahlt wird, dient nur zum Teil zur Steigerung der Temperatur des Brennstoffs. Der Rest strömt durch Leitung von der Oberfläche des Staubkorns an die kalte Verbrennungsluft ab. Dieser Zusammenhang läßt sich leicht in eine Formel kleiden. Es sei

- t °C bzw. T ° abs. die gleichmäßige Temperatur eines Staubkornes,
- r m sein Halbmesser,
- γ kg m^{-3} das spezifische Gewicht der Kohle,
- c kcal kg^{-1} $°C^{-1}$ die spezifische Wärme der Kohle,
- C kal m^{-2} h^{-1} $Grad^{-4}$ die Strahlungszahl der Kohle,
- t_w °C bzw. T_w ° abs. die Wandtemperatur der Verbrennungskammer,
- φ das Winkelverhältnis der Strahlung,
- u °C die Temperatur der Verbrennungsluft,
- λ kcal m^{-1} h^{-1} $°C^{-1}$ die Wärmeleitzahl der Luft,
- z h die Zeit, die seit dem Ausströmen des Kohlenstaubes aus dem Brenner verstrichen ist.

Um zunächst einen möglichst einfachen und übersichtlichen Fall zu behandeln, möge vorausgesetzt werden, daß nur ein einziges Kohlenkorn in den heißen Feuerraum eingeblasen werde. Außerdem werde mit sehr großem Luftüberschuß eingeblasen, so daß durch die vom Kohlenteilchen abfließende Wärme keine Erwärmung der Verbrennungsluft eintritt. Deshalb ist hier u konstant.

Die in einer Stunde zwischen der Wand des Feuerraumes und einem Kohlenteilchen durch Strahlung ausgetauschte Wärme ist

$$\varphi\, C\left[\left(\frac{T_w}{100}\right)^4-\left(\frac{T}{100}\right)^4\right] 4\, r^2 \pi \quad \ldots \quad (1).$$

Das Winkelverhältnis $\varphi < 1$ hängt dabei von der baulichen Anordnung der Feuerung ab. Von der auf das Staubkorn durch Strahlung übertragenen Wärme dient der Teil

$$\frac{4}{3} r^3 \pi c \gamma \frac{d\,t}{d\,z} \quad \ldots \quad (2)$$

zur Erwärmung des Kohlenstückchens, das in erster Annäherung als kugelförmig vorausgesetzt werden kann. Von dem so erwärmten Kohlenstaub strömt durch Wärmeleitung die Wärme[4])

$$4 \pi \lambda r (t-u) \quad \ldots \quad (3)$$

[1]) Über Entzündungstemperaturen (Zündpunkte) besonders von Brennstoffen, Zeitschr. f. angew. Chemie 1913 S. 273.

[2]) E. Dalber, Die Zündpunkte von Brennstoffen nach neueren Versuchen, Z. Bd. 65 (1921) S. 1289.

[3]) W. Nusselt, Die Selbstentzündung ausströmenden Wasserstoffes, Z. Bd. 66 (1922) S. 203.

[4]) W. Nusselt, Die Wärmeleitfähigkeit von Wärmeisolierstoffen, Forschungsheft 63/64 S. 11.

an die Verbrennungsluft ab. Wie beträchtlich diese Wärmeabgabe ist, erkennt man, wenn man daraus die Wärmeübergangszahl zwischen Kohle und Verbrennungsluft berechnet. Sie wird

$$\alpha = \frac{\lambda}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

und für $r = 0{,}01$ mm bei Zimmertemperatur

$$\alpha = 2000 \text{ kcal m}^{-2}\text{ h}^{-1}\,{}^0\text{C}^{-1} \quad \ldots\ldots \quad (4a);$$

sie ist also für diese Staubteilchen erheblich größer als für gewöhnliche Körper, für die α zwischen 4 und 8 schwankt. Nach dem Energiesatz muß dann zwischen diesen drei Wärmemengen folgende Beziehung bestehen:

$$\frac{4}{3} r^3 \pi c \gamma \frac{d t}{d z} = \varphi C \left[\left(\frac{T_w}{100}\right)^4 - \left(\frac{T}{100}\right)\right]^4 4 r^2 \pi - 4 \pi r \lambda (t - u) \quad (5),$$

oder wenn man, was meist zulässig ist, T^4 gegen $T_w{}^4$ vernachlässigt,

$$\frac{c \gamma r^2}{3} \frac{d t}{d z} + \lambda (t - u) - \varphi C r \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 = 0 \quad \ldots\ldots \quad (5a).$$

Bei der Integration ist als Grenzbedingung

$$t = u \text{ für } z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

zu setzen. Die Lösung der Differentialgleichung 5a lautet:

$$t = u + \frac{\varphi C r}{\lambda} \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 \left(1 - e^{-\frac{3\lambda}{c \gamma r^2} z}\right) \quad \ldots\ldots \quad (7).$$

Man erkennt zunächst, daß die Temperatur des Kohlenteilchens einem Grenzwert zustrebt:

$$t_\infty = u + \frac{\varphi C r}{\lambda} \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8).$$

Diese Grenztemperatur ist um so höher, je größer das Korn und je größer die Wandtemperatur ist. Damit kann man auch Gl. (7) schreiben:

$$t - u = (t_\infty - u) \left(1 - e^{-\frac{3\lambda}{c \gamma r^2} z}\right) \quad \ldots\ldots \quad (7a).$$

Da eine Zündung nur erfolgen kann, wenn die Selbstentzündungstemperatur t_c erreicht wird, so folgt aus der Gl. (7a), daß nur dann eine Zündung des eingeblasenen Kohlenkorns erfolgt, wenn

$$t_\infty > t_c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

ist. Nach Gl. (8) besteht daher die Bedingung

$$t_c - u < \frac{\varphi C r}{\lambda} \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9a)$$

oder nach r aufgelöst:

$$r > \frac{\lambda (t_c - u)}{\varphi C \left(\frac{T_w}{100}\right)^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10).$$

Damit in dem hier betrachteten Fall eine Zündung der Kohle erfolgt, darf der Halbmesser des Korns nicht unter den durch Gl. (10) ausgedrückten Betrag sinken, d. h. die Kohle darf nicht zu fein ausgemahlen sein. Außerdem muß das Kohlenteilchen um so größer sein, je höher der Zündpunkt liegt. Zahlentafel 4 zeigt, wie diese Grenzkorngröße von der Wandtemperatur und vom Zündpunkt abhängt. Bei der Ausrechnung der Tafel habe ich

$$\varphi = 1, \quad C = 4{,}69 \text{ kcal m}^{-2}\text{ h}^{-1}\text{ Grd}^{-4} \quad \text{und} \quad u = 20\,{}^\circ\text{C}$$

gesetzt.

Zahlentafel 4. Grenzkornhalbmesser r in $\mu = 0{,}001$ mm.

Wandtemperatur t_w	Entzündungstemperatur t_c °C						
°C	200	250	300	350	400	450	500
800	76	105	134	165	198	234	270
900	54	73	93	115	139	163	188
1000	39	53	67	83	100	117	136
1100	28	39	49	61	73	86	100
1200	22	30	39	48	57	67	78
1300	17	23	29	36	43	50	58
1400	13	18	22	28	33	39	45
1500	10	14	18	22	26	31	36

Ist der Halbmesser des Korns größer als dieser Grenzwert, so liefert die Auflösung von Gl. (7a) nach z die Zündzeit z_0, das ist die Zeit, welche vom Einblasen bis zur Entzündung des Brennstoffes verstreicht. Sie wird

$$z_0 = \frac{c \gamma r^2}{3 \lambda} \ln \frac{t_\infty - u}{t_\infty - t_c}$$

oder

$$z_0 = \frac{c \gamma r^2}{3 \lambda} \ln \frac{\varphi C r \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 - \lambda u}{\varphi C r \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 - \lambda t_c} \quad \ldots\ldots \quad (11).$$

Der Zahlentafel 5 liegt diese Gleichung zugrunde. Sie zeigt, wie sich die Zündzeit mit der Wandtemperatur, der Korngröße und dem Zündpunkt, also der Kohlensorte, ändert. Aus der Gl. (11) ist zu erkennen, daß es bei gegebenen Temperaturen eine Korngröße gibt, bei welcher die Zündzeit am kleinsten ist, denn für sehr große Durchmesser und für den Grenzdurchmesser wird die Zündzeit unendlich groß.

Zahlentafel 5. Zündzeit z_0 in Sekunden.

Entzündungstemperatur t_c	Wandtemperatur t_w	Kornhalbmesser r in $\mu = 0{,}001$ mm				
°C	°C	100	50	40	30	20
200	800	0,273	—	—	—	—
	1000	0,095	0,072	0,115	—	—
	1200	0,047	0,028	0,024	0,023	—
	1400	0,026	0,014	0,012	0,010	0,008
300	800	—	—	—	—	—
	1000	0,188	—	—	—	—
	1200	0,084	0,064	0,100	—	—
	1400	0,042	0,025	0,022	0,020	—
400	800	—	—	—	—	—
	1000	∞	—	—	—	—
	1200	0,132	—	—	—	—
	1400	0,063	0,042	0,024	—	—
500	1000	—	—	—	—	—
	1200	0,219	—	—	—	—
	1400	0,087	0,084	—	—	—

Bei der praktischen Ausführung der Kohlenstaubfeuerung entfällt nun auf ein Kohlenteilchen eine ganz bestimmte Luftmenge, die während der Zündzeit eine merkliche Erwärmung erfährt, so daß die Temperatur der Verbrennungsluft u nicht mehr konstant bleibt. Ist L die Luftmenge, die auf 1 kg Brennstoff entfällt, und ist C_p die spezifische Wärme von 1 m³ der Luft, so steigert die nach Gl. (3) vom Kohlenteilchen an die Luft abgeführte Wärme der Temperatur der Luft um $d u$ nach der Gleichung

$$4 \pi \lambda r (t - u) d z = L C_p \frac{4}{3} r^3 \pi \gamma d u \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

oder

$$\frac{d u}{d z} = \frac{3 \lambda (t - u)}{L C_p \gamma r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12a).$$

Daneben besteht noch die Beziehung

$$\frac{c \gamma r^3}{3} \frac{d t}{d z} + \lambda (t - u) - \varphi C r \left(\frac{T_w}{100}\right)^4 = 0 \quad \ldots\ldots \quad (5a).$$

Dieses gleichzeitige System gewöhnlicher Differentialgleichungen läßt sich leicht auflösen. Wenn man die neu hinzutretende Grenzbedingung beachtet, die

$$t = u = u_0 \text{ für } z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

lautet, wobei u_0 die Eintrittstemperatur des Kohlenstaubluftgemisches ist, so ist die Lösung der Gl. (5a) und (12a) implizit durch

$$\frac{t_c - u_0}{t_\infty - u_0} \left(1 + \frac{c}{L C_p}\right) - \frac{3 \lambda}{L C_p \gamma r^2} z_0 = 1 - e^{-\frac{3\lambda}{\gamma r^2}\left(\frac{1}{L C_p} + \frac{1}{c}\right) z_0} \quad . \quad (14)$$

gegeben. Hierin ist t_∞ die Grenztemperatur nach Gl. (8) und z_0 die gesuchte Zündzeit. Da Gl. (14) transzendent ist, läßt sie sich nicht explizit nach z_0 darstellen. Ihre angenäherte Lösung bietet aber keine Schwierigkeiten. Zunächst folgt daraus, daß die Zündzeit z_0 immer positiv ist, sobald die Temperatur t_w der Wand des Feuerraumes größer als die Selbstentzündungstemperatur der Kohle ist. Wenn also das Kohlenstaubluftgemisch genügend lange der strahlenden Wärme der heißen Wand ausgesetzt ist, muß immer eine Zündung erfolgen. In der Temperatur t_∞ nach Gl. (8) steckt noch das Winkelverhältnis φ der Zustrahlung von der Wand. Dieses wird hier gegen seinen oberen Grenzwert 1 stark verkleinert, da viele von der heißen Wand zu einem Kohlenteilchen zielende Strahlen auf dazwischen liegende Kohlenteilchen treffen und dort absorbiert werden. Je feiner der Staub ist, um so mehr Kohlenteilchen sind in der Raumeinheit enthalten, um so kleiner wird also das Winkelverhältnis φ. Überschläglich kann man φ auf folgende Weise berechnen: In 1 m³ des Staubluftgemisches sind n Körner enthalten, deren Zahl bei gleichem Durchmesser aus der Gleichung

$$n \frac{4}{3} r^2 \pi \gamma L = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

folgt. Nimmt man nun gleichmäßige Mischung an, so entfällt auf jedes Korn ein Würfel von der Kantenlänge

$$l = \frac{1}{\sqrt[3]{n}} = r \sqrt[3]{\frac{4}{3} \pi \gamma L} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (16).$$

In diesem Würfel selbst kann das Korn jede beliebige Stelle einnehmen. Ich betrachte nun einen solchen Würfel und alle hinter ihm liegenden. Ihre Zahl ist

$$N = \frac{1}{l} = \sqrt[3]{n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (17).$$

In jedem dieser hintereinander liegenden Würfel schwebt ein Kohlenteilchen. Läßt man nun durch diese Würfelreihe Wärme strahlen, so wird davon ein Teil der Strahlung durch

die Kohlenteilchen absorbiert, und von dem Querschnitt l^2 des auffallenden Strahlenbündels dringt nun der Bruchteil ψl^2 durch die ganze Würfelreihe. Zur angenäherten Berechnung von ψ will ich annehmen, daß ein Kohlenkorn vom Halbmesser r nicht jede beliebige Lage in dem Elementarwürfel von der Kantenlänge l einnehmen kann. Ich denke mir vielmehr den Querschnitt des Würfels l^2 in

$$m = \frac{l^2}{r^2 \pi} = \frac{1}{r^2 \pi n^{2/3}} = \frac{1}{\pi}\left(\frac{4}{3}\pi \gamma L\right)^{2/3} \quad . \; . \; . \; . \; (18)$$

Zellen zerlegt und setze voraus, daß im Querschnitt l^2 das Kohlenteilchen nur in einer solchen Zelle liegen kann. Jeder der Würfel sei in m solche Zellen zerlegt, die mit den Nummern von 1 bis m versehen seien. In jedem wird das zu jedem Würfel gehörige Kohlenteilchen in irgendeiner Zelle Aufnahme finden. Wieviel von den m Zellen dann bei der Durchsicht frei sind, ergibt sich nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit zu

$$m\left(1 - \frac{1}{m}\right)^N \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (19).$$

Damit wird

$$\psi = \left(1 - \frac{1}{m}\right)^N \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (20).$$

Bezeichnet man nun die Absorptionsziffer des Kohlenstaubgemisches für Wärmestrahlen mit a, so ist

$$e^{-a} = \psi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (21)$$

oder

$$a = \ln \frac{1}{\psi} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (21a).$$

Das Winkelverhältnis für die Strahlung eines Kohlenteilchens ist dann

$$\varphi = \frac{1}{4\pi}\int_0^{4\pi} e^{-ay}\, d\omega \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (22),$$

wenn y die Länge des Weges ist, den ein vom betrachteten Teilchen nach der Wand des Feuerraumes gezogener Strahl im Kohlenstaubluftgemisch zurückgelegt, und wenn $d\omega$ der Raumwinkel dieses Wärmestrahles ist. Betrachtet man den aus dem Brenner ausströmenden Staubstrahl, so erkennt man, daß je nach der Lage eines Kohlenteilchens im Strahl das Winkelverhältnis anders sein wird. Außerdem ändert es sich auch durch die Verzögerung und die dadurch erzeugte Ausbreitung des Strahles während des Zündweges. In Zahlentafel 6 ist die nach Gl. (14) berechnete Zündzeit z_0 für Steinkohle verschiedener Feinheit zusammengestellt. Zugrunde gelegt sind dabei als Selbstentzündungstemperatur 250 °C, als Wandtemperatur des Feuerraums 1300 °C, als Luftüberschußzahl 1,20 und $y = 0{,}5$ m.

Zahlentafel 6. Zündzeit von Steinkohle.

Kornhalbmesser r . . μ	1000	500	100	50	20	10	5	1
Anzahl der Körner in 1 m³ . . . . . N	25,4	50,8	254	508	1270	2540	5080	25400
l . . . . μ	39400	19700	3940	1970	798	394	197	39,4
Absorptionsziffer a m⁻¹	1,05	1,11	1,67	2,80	13,1	171	29400	$2{,}2 \cdot 10^{22}$
Winkelverhältnis . . φ	0,59	0,57	0,43	0,25	0,001	0	0	0
t_∞ . . . . °C	1223	1120	461	148	20,2	20	20	20
Zündzeit z_0 . . . . . s	3,3	0,89	0,108	0,41	∞	∞	∞	∞

Es gibt also auch hier wieder eine kleinste Zündzeit, die allerdings stark von dem Strahlungsweg y, also von der Stärke des Strahles, abhängt.

Die zweite Art der Entzündung des kalten Kohlenstaubes hat große Ähnlichkeit mit der Verbrennung brennbarer Gasgemische[1]). Man betrachtet ein ruhendes, kaltes Kohlenstaubluftgemisch, das in einer ebenen Fläche an ein brennendes oder verbranntes Gasgemisch grenzt. Aus diesem heißen Gasgemisch wird dann Wärme nach dem kalten Kohlenstaubluftgemisch geleitet. Ist durch diese Wärmezufuhr ein Kohlenteilchen auf die Selbstentzündungstemperatur gebracht, so verbrennt es und erhitzt dadurch seine Umgebung. Es strömt dann von hier Wärme zum benachbarten Kohlenteilchen, das dadurch zur Entzündung gebracht wird usw. Auf diese Weise dringt eine Fläche in das unverbrannte Staubgemisch ein, welche das unverbrannte vom verbrennenden Staubgemisch trennt. Diese Fläche heiße die Brennfläche und die Geschwindigkeit, mit der sie in das ruhende, kalte Kohlenstaubluftgemisch vordringt, ist die Zündgeschwindigkeit.

Es sei nun

t_1 die Temperatur des unverbrannten, kalten Kohlenstaubluftgemisches,

t_2 die Temperatur des verbrannten Staubgemisches,

$a^2 = \frac{\lambda}{c\gamma}$ die Temperaturleitfähigkeit der Luft,

x eine Koordinate senkrecht zur Fläche und

z die Zeit.

[1]) W. Nusselt, Die Zündgeschwindigkeit brennbarer Gasgemische, Z. Bd. 59 (1915) S. 872.

Nimmt man nun an, daß die Brennfläche augenblicklich auf die Temperatur t_2 gebracht wird, so ist von diesem Zeitpunkt an gerechnet die Temperatur[2]) der Verbrennungsluft t an der Stelle x

$$t - t_1 = (t_2 - t_1)\left(1 - \Phi\left(\frac{x}{2a\sqrt{z}}\right)\right) \quad . \; . \; . \; (23).$$

In dieser Gleichung ist $\Phi(y)$ das Fehlerintegral

$$\Phi(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^y e^{-\beta^2}\, d\beta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (24).$$

Setzt man in Gl. (23) für x den mittleren Abstand l der einzelnen Kohlenteilchen und für t die Selbstentzündungstemperatur t_e der Kohle ein, dann liefert ihre Auflösung nach z die Zeit z_0, die verstrichen ist, bis ein Kohlenteilchen im Abstand l von der Brennfläche sich entzündet. Das Verhältnis beider ist dann die Zündgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit

$$w = \frac{l}{z_0} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (25),$$

mit der sich die Brennfläche in das kalte Gasgemisch fortpflanzt. Den mittleren Abstand l der einzelnen Kohlenteilchen kann man auf folgende Weise berechnen: Ist r der Halbmesser des Korns, der für alle Teilchen gleich sei, so entstehen aus 1 kg Kohle

$$n = \frac{3}{4\pi r^3 \gamma} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (26)$$

Kohlenteilchen. Nimmt man nun an, daß sich diese n Staubteilchen gleichmäßig auf die Verbrennungsluft L verteilen, so wird ihr Abstand

$$l = r\sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi\gamma L} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (27).$$

Durch Einsetzen dieses Wertes in Gl. (25) ergibt sich die Zündgeschwindigkeit zu

$$w = \frac{r}{z_0}\sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi\lambda L} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (25a).$$

Die Auflösung von Gl. (23) gibt den Zusammenhang

$$\frac{x}{2a\sqrt{z}} = f\left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (23a),$$

der mit Hilfe des Fehlerintegrals nach Gl. (24) berechnet und in Zahlentafel 7 dargestellt wurde. Setzt man in Gl. (23 a)

Zahlentafel 7. Funktion $f\left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right)$

$\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$f\left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right)$	0	0,0888	0,1792	0,2725	0,3708	0,4769
$\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0001	0
$f\left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right)$	0,5951	0,7329	0,9062	1,1630	2,860	∞

$x = l$, $t = t_e$ und $z = z_0$, und führt man diesen Wert in Gl. (25 a) ein, so erhält man für die Zündgeschwindigkeit die Gleichung

$$w = \frac{4a^2}{r\sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi\gamma L}}\, f\left(\frac{t_e - t_1}{t_2 - t_1}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (25b).$$

Gl. (25 b) lehrt, daß die Zündgeschwindigkeit umgekehrt proportional der Korngröße ist.

Als Beispiel werde die Zündgeschwindigkeit für ein Steinkohlenluftgemisch berechnet. Die Entzündungstemperatur t_e sei 250 °C und die Verbrennungstemperatur 1500 °C. Damit wird die mittlere Temperatur $T_m = 1024$ ° abs. und für diese die Wärmeleitzahl der Luft[3]) $\lambda = 0{,}0575$ kcal m⁻¹ h⁻¹ °C⁻¹. Bei einem Gasdruck von 1 at wird die Luftdichte $\gamma = 0{,}334$ kg m⁻³ und die spezifische Wärme $c = 0{,}26$ kcal kg⁻¹ °C⁻¹, so daß die Temperaturleitfähigkeit $a^2 = 0{,}662$ m² h⁻¹ wird. Mit diesen Konstanten liefert Gl. (25 b) die in Zahlentafel 8 enthaltenen Werte der Zündgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Korndurchmesser. Die Zündgeschwindigkeit eines Kohlenstaubluftgemisches nimmt also sehr beträchtlich mit der Feinheit des Staubes zu. Nach Gl. (25 b) hängt die Zündgeschwindigkeit auch von der Entzündungstemperatur und der Vorwärmung der Verbrennungsluft ab. Den Einfluß der Entzündungstemperatur zeigt Zahlentafel 9, die für einen Kornhalbmesser von $r = 20\,\mu$ gilt. Sie zeigt, wie die Zündgeschwindigkeit mit steigender Selbstentzündungstemperatur sinkt. Aus Gl. (25 b) folgt ferner, daß die Zündgeschwin-

[2]) Siehe z. B. H. Gröber, Die Grundgesetze des Wärmeüberganges und der Wärmeleitung, Berlin 1921, Julius Springer, S. 68 Gl. 32 b.

[3]) W. Nusselt, Das Grundgesetz des Wärmeüberganges, „Gesundheitsingenieur" 1915 S. 491.

Zahlentafel 8. Abhängigkeit der Zündgeschwindigkeit eines Kohlenstaubluftgemisches von der Korngröße.

Kornhalbmesser r . . μ	1000	500	100	50	20	10	5	1
Zündgeschwindigkeit w . . m/s	0,020	0,040	0,200	0,400	1,00	2,00	4,00	20,0

Zahlentafel 9. Einfluß des Zündpunktes auf die Zündgeschwindigkeit.

Zündpunkt t_o . . . . . °C	200	250	300	350	400
Zündgeschwindigkeit w m/s	1,09	1,00	0,92	0,86	0,80
Zündpunkt t_o . . . . . °C	450	500	550	600	650
Zündgeschwindigkeit w m/s	0,74	0,69	0,65	0,60	0,55

digkeit mit der Verbrennungstemperatur und mit der Vorwärmung steigt.

Erfolgte die Entzündung des Brennstoffes nur auf diesem zweiten Weg, so würde sich über dem Brennerrohr, durch welches das Kohlenstaubluftgemisch eingeblasen wird, ähnlich wie beim Bunsenbrenner, eine kegelförmige Brennfläche ausbilden. Der halbe Öffnungswinkel α dieses Kegels folgt aus

$$\sin \alpha = \frac{w}{w_1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (28),$$

wenn w_1 die Ausflußgeschwindigkeit aus dem Brennerrohr ist. Ist d der Brennerdurchmesser, so wird die Höhe des Brennkegels

$$h = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{d \sqrt{w_1^2 - w^2}}{2 w} \quad \ldots \ldots \ldots (29).$$

Die Zeit, die das in der Achse des Brenners ausströmende Kohlenteilchen braucht, um vom Brennerrand zur Spitze des Brennkegels zu gelangen, ist

$$z = \frac{h}{w_1} \quad \ldots \ldots \ldots (30).$$

Ist nun die aus der Strahlungszündung nach Gl. (14) folgende Zündzeit größer als diese, so entzündet sich das ganze Staubluftgemisch auf dem zweiten Wege, also durch Leitung. Ist aber die Zündzeit z_0 nach Gl. (14) kleiner als z nach Gl. (30), also

$$z_0 < \frac{h}{w_1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (31),$$

so werden die im Innern des Strahles strömenden Teilchen durch Strahlung, dagegen die am Rande fließenden durch Leitung entzündet. Als Brennfläche entsteht dann ein Kegelstumpf von der Höhe

$$h_1 = w_1 z_0 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (32).$$

Ist so jedes Kohlenteilchen, sei es auf dem einen oder andern Wege, zur Entzündung gebracht, so setzt die Verbrennung ein.

Die Verbrennung des Brennstoffes.

Die Verbrennung der Kohle, das heißt die Vereinigung der brennenden Bestandteile der Kohle mit dem Sauerstoff der Luft, beginnt, nachdem die Oberfläche eines Kohlenteilchens die Selbstentzündungstemperatur erreicht hat. Damit die Verbrennung aber nicht erlischt, sondern andauert, müssen die Verbrennungsprodukte von der Kohlenoberfläche entfernt und durch neuen Sauerstoff ersetzt werden. Dies geschieht auf dem Wege der Gasdiffusion. Ich mache also hier wieder wie in meiner früheren Abhandlung[1]) die Annahme, daß die Verbrennungsgeschwindigkeit nur von der Schnelligkeit abhängig ist, mit der aus dem Luftstrom Sauerstoff zur Oberfläche der Kohle gelangt. Jedes Sauerstoffmolekül wird, sobald es die Oberfläche der Kohle erreicht hat, sofort zu CO_2 verbrannt. Nach dem Erreichen der Selbstentzündungstemperatur ist deshalb an der Kohlenoberfläche die Konzentration des Sauerstoffs dauernd Null. Bei gasreichen Kohlen setzt nach dem Überschreiten der Entzündungstemperatur eine Entgasung des Brennstoffs ein. Die so an die Oberfläche der Kohle gelangenden brennbaren Gase, in erster Linie Wasserstoff und Methan, verbrennen dann an der Oberfläche. Leider ist dieser Entgasungsvorgang in seinem zeitlichen Verlauf noch zu wenig bekannt, als daß er hier berücksichtigt werden könnte. Ich muß deshalb ein gleichmäßiges Abbrennen der Kohle ohne vorherige Entgasung annehmen. Eine Schwierigkeit verursacht auch die im Brennstoff enthaltene Schlacke. Ich nehme an, daß sie mit der abbrennenden Kohlenschicht abbröckelt, so daß bei der Rechnung von ihrer Anwesenheit abgesehen werden kann. Sie spielt zweifellos bei der Verbrennung der Kohlenstaubfeuerung nicht die Rolle wie bei der Rostfeuerung.

Zur Bestimmung der zur Kohlenoberfläche gelangenden Sauerstoffmengen stehen die Diffusionsgesetze zur Verfügung. Leider sind diese nur sehr mangelhaft bekannt. Sie gelten in ihrer einfachen Gestalt nur für Gasgemische, die nur aus zwei ineinander diffundierenden Einzelgasen bestehen. Für den Fall, daß mehrere Gase an der Diffusion beteiligt sind, gelten sehr verwickelte Formeln, die Stefan zum Teil entwickelt hat, zu deren Anwendung aber die Kenntnis der in den Gleichungen enthaltenen Konstanten fehlt. Im vorliegenden Fall besteht das Gasgemisch aus N_2, O_2, CO_2 und H_2O. Es kann nun in erster Annäherung angenommen werden, daß sich der Stickstoff an der Diffusion nicht beteiligt, so daß die Stickstoffkonzentration gleich bleibt. Außerdem soll der Wasserdampf als Kohlensäure behandelt werden. Dann kann das Grundgesetz der Diffusion in der Form

$$V = - D \frac{d\,m}{d\,x} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (33)$$

geschrieben werden. Hierin ist V die in der Stunde durch 1 m² diffundierende Sauerstoffmenge, gemessen bei der Gastemperatur und dem gesamten Gasdruck. m ist der Raumanteil des Sauerstoffs in 1 m³ der Mischung. — $\frac{d\,m}{d\,x}$ ist also das Sauerstoffgefälle senkrecht zur Fläche. Diese Formel gilt streng nur für den Fall, daß in dieser Richtung kein Temperaturgefälle vorhanden ist. Ist dagegen, wie bei dem hier zu behandelnden Problem, in der Richtung der Diffusion auch ein Temperaturgefälle vorhanden, so ist die diffundierende Gasmenge auch von diesem Temperaturgefäll abhängig[2]). Gl. (33) geht dann in folgende über:

$$V = - D \frac{d\,m}{d\,x} - D_T \frac{1}{T} \frac{d\,T}{d\,x} \quad \ldots \ldots (33a).$$

Die neue Diffusionszahl D_T für das Temperaturglied ist von dem Unterschied der Moleküldurchmesser der ineinander diffundierenden Gase abhängig. Da Sauerstoff und Kohlensäure fast gleichen Moleküldurchmesser haben, wird hier D_T sehr klein, so daß man das zweite Glied vernachlässigen und mit Gl. (33) weiterrechnen kann. Führt man in diese gemäß der Gasgleichung

$$P V = G R T \quad (34)$$

das Gasgewicht G ein, so geht sie in folgende über:

$$G = - \frac{D P}{R T} \frac{d\,m}{d\,x} \quad \ldots \ldots \ldots (33b).$$

Ist D_0 die Diffusionszahl beim Normalzustand der Gase, also bei 1 at und 288° abs., so gilt

$$D = \frac{10\,000\, T^2}{288^2 P} D_0 \quad \ldots \ldots \ldots (35).$$

Damit geht Gl. (33b) über in

$$G = - \frac{D_0 T}{8{,}30 R} \frac{d\,m}{d\,x} \quad \ldots \ldots \ldots (33c).$$

Bei der Anwendung dieser Formel auf den Verbrennungsvorgang werde nun angenommen, daß der Vorgang konzentrisch zum Mittelpunkt des Kohlenteilchens verlaufe. Dann ist x in Gl. (33c) der Halbmesser einer Kugelfläche, m die dort herrschende Sauerstoffkonzentration und T die dort vorhandene Temperatur. Eine genaue rechnerische Verfolgung des Temperatur- und Diffusionsfeldes in der Umgebung eines abbrennenden Kohlenteilchens ist recht schwierig. Zur Vereinfachung der Rechnung kann angenähert angenommen werden, daß sich jeweils die zum augenblicklichen Kugeldurchmesser r gehörigen Gleichgewichtszustände einstellen. Ist T_0 die zunächst als unabhängig von der Zeit angenommene Temperatur der Verbrennungsluft und T_1 die Oberflächentemperatur des Kohlenteilchens, so ist die Temperatur der Verbrennungsluft im Abstand x vom Mittelpunkt des Kohlenteilchens

$$T = T_0 + (T_1 - T_0) \frac{r}{x} \quad \ldots \ldots \ldots (35),$$

wobei allerdings vorausgesetzt ist, daß die Wärmeleitfähigkeit der Luft von der Temperatur unabhängig ist. Setzt man in Gl. (33c) diesen Wert der Temperatur ein, so geht die Gleichung für den Verlauf der Sauerstoffkonzentration in die folgende über:

$$G = \frac{4 \pi D_0}{8{,}30 R} [T_0 x^2 + (T_1 - T_0) r x] \frac{d\,m}{d\,x} \quad \ldots (33d),$$

die sich durch Separation integrieren läßt. Dabei sind als Grenzbedingungen zu setzen

$$m = 0 \quad \text{für } x = r$$

und

$$m = 0{,}21 \quad \text{für } x = \infty.$$

So findet man das in der Stunde zur Oberfläche der Kohle durch Diffusion gelangende Sauerstoffgewicht zu

$$G = \frac{0{,}318\, r\, D_0 (T_1 - T_0)}{R \ln \frac{T_1}{T_0}} \quad \ldots \ldots \ldots (36).$$

Bezeichnet man

$$\frac{T_1 - T_0}{\ln \frac{T_1}{T_0}} = T_m \quad \ldots \ldots \ldots (37)$$

als Mitteltemperatur des Temperaturfeldes, so kann man auch schreiben:

$$G = \frac{0{,}318\, r\, D_0\, T_m}{R} \quad \ldots \ldots \ldots (36a).$$

[1]) W. Nusselt, Die Verbrennung und die Vergasung der Kohle auf dem Rost, Z. Bd. 60 (1916) S. 201.

[2]) S. Chapman, On the kinetic theory auf a gas. Part. II. — A composite monatomic gas: diffusion, viscosity, and thermal conduction. Phil. Trans. Roy. Soc. Lon. ser. A 1918 Bd. 217 S. 115.

Mit diesem Ergebnis kann man den Abbrand des Kohlenteilchens berechnen. Ist S_{min} die zur vollkommenen Verbrennung von 1 kg Kohle nötige Sauerstoffmenge in m³ im Normalzustand, so besteht zwischen dem zur Verbrennung verbrauchten Sauerstoffgewicht dG und der Abnahme $-dr$ des Kornhalbmessers die Beziehung

$$dG = -\frac{10\,000\,S_{min}}{288\,R}\,4\,\pi\,r^2\,dr \quad \ldots \ldots \ldots (38).$$

Nach Gl. (36 a) ist anderseits die in der Zeit dz verbrannte Kohlenmenge

$$dG = \frac{0{,}318\,r\,D_0\,T_m}{R}\,dz \quad \ldots \ldots \ldots (36b).$$

Die Gleichsetzung beider Ausdrücke liefert die Differentialgleichung

$$-r\,dr = \frac{0{,}21\,D_0\,T_m}{288\,\gamma\,S_{min}}\,dz \quad \ldots \ldots \ldots (39).$$

Mit Beachtung der Grenzbedingung

$$r = r_0 \text{ für } z = 0$$

gibt ihre Lösung die Verbrennungszeit

$$z_0 = \frac{288\,\gamma\,r_0^2\,S_{min}}{2 \cdot 0{,}21\,D_0\,T_m} \quad \ldots \ldots \ldots (40),$$

oder wenn man für $\frac{S_{min}}{0{,}21} = L_{min}$ die zur vollkommenen Verbrennung von 1 kg Kohle nötige Luftmenge einsetzt,

$$z_0 = 144\,\frac{\gamma\,r_0^2\,L_{min}}{D_0\,T_m} \quad \ldots \ldots \ldots (40a).$$

Sie liefert das wichtige Ergebnis, daß die Verbrennungszeit dem Quadrate der Korngröße proportional ist. Zahlentafel 10 zeigt

Zahlentafel 10. Abhängigkeit der Verbrennungszeit von der Korngröße.

Kornhalbmesser r in . . . . μ	1000	500	100	50	20	10	5	1
Verbrennungszeit z_0 in . . . . s	110,4	27,8	1,104	0,20	0,055	0,011	0,0028	0,0001

für ein Beispiel diese Abhängigkeit. Ihm liegen die folgenden Zahlenwerte zugrunde:

$t_0 = 20\,°C$,
$t_1 = 1500\,°C$,
$\gamma = 1350\,kg\,m^{-3}$,
$L_{min} = 9{,}00\ m^3\,kg^{-1}$ (15°, 1 at),
$D_0 = 0{,}0695\,m^2\,h^{-1}$.

Gl. (40 a) ist eine erste Näherungsformel für die Verbrennungszeit. Bei ihrer Ableitung sind aber mehrere Annahmen gemacht worden, die in der Feuerung nicht zutreffen. So wurde vorausgesetzt, daß sich die Temperatur und die Zusammensetzung der Verbrennungsluft nicht ändern. Gl. (40 a) gilt also nur für den Fall, daß ein Kohlenteilchen in sehr viel Luft verbrennt. Von diesen Voraussetzungen möge nun noch eine fallen gelassen werden. Es werde angenommen, daß sich während der Verbrennung der Sauerstoffgehalt O_2 der Verbrennungsluft ändert. An die Stelle von Gl. (39) tritt dann

$$-r\frac{dr}{dz} = \frac{O_2\,D_0\,T_m}{288\,\gamma\,S_{min}} \quad \ldots \ldots \ldots (39a).$$

Setzt man zur Abkürzung

$$\frac{D_0\,T_m}{288\,\gamma\,S_{min}} = a \quad \ldots \ldots \ldots (41),$$

so wird

$$-r\frac{dr}{dz} = a\,O_2 \quad \ldots \ldots \ldots (39b).$$

Durch die Verbrennung nimmt der O_2-Gehalt der Verbrennungsluft ab. Ist k die Luftüberschußzahl, so ergibt sich hierfür bei Benutzung von Gl. (36 a)

$$-\frac{4}{3}\,r_0^3\,\pi\,\gamma\,k\,L_{min}\,d\,O_2 = \frac{4\,\pi}{288}\,r\,D_0\,T_m\,O_2\,dz \quad \ldots \ldots (42).$$

Mit der Abkürzung

$$\frac{3\,D_0\,T_m}{288\,k\,L_{min}\,r_0^3\,\gamma} = b \quad \ldots \ldots \ldots (43)$$

wird

$$-\frac{d\,O_2}{dz} = b\,O_2\,r \quad \ldots \ldots \ldots (42a).$$

Aus Gl. (39 b) und (42 a) folgt

$$r^2\frac{dr}{dz} = \frac{a}{b}\,\frac{d\,O_2}{dz} \quad \ldots \ldots \ldots (44),$$

mit der Lösung

$$\frac{r^3}{3} = \frac{a}{b}\,O_2 + C \quad \ldots \ldots \ldots (45).$$

Daraus ergibt sich mit der Grenzbedingung

$$O_2 = 0{,}21 \text{ für } r = r_0$$

$$r_0^3 - r^3 = \frac{a}{3\,b}\,(0{,}21 - O_2) \quad \ldots \ldots \ldots (45a).$$

Diese Gleichung gibt einen Zusammenhang zwischen dem Korndurchmesser und dem Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase. Setzt man daraus O_2 in Gl. (39 b) ein, so ergibt sich:

$$-r\frac{dr}{dz} = \frac{b}{3}\,(r^3 - r_0^3) + 0{,}21\,a \quad \ldots \ldots (46).$$

eine Gleichung, welche die Veränderlichkeit des Korndurchmessers mit der Zeit bestimmt. Setzt man nach der Integration

$$r = r_0 \text{ für } z = 0$$

und

$$z = z_0 \text{ für } r = 0,$$

so erhält man für die Verbrennungszeit den Wert

$$z_0 = 144\,\frac{r_0^2\,\gamma\,L_{min}}{D_0\,T_m}\,F(k) \quad \ldots \ldots \ldots (47).$$

Die Funktion $F(k)$, welche den Einfluß der Luftüberschußzahl k auf die Verbrennungszeit z_0 angibt, wird durch

$$F(k) = \frac{2\,k}{3\sqrt[3]{k-1}}\left[\ln\frac{\sqrt{1-\sqrt[3]{k-1}+\sqrt[3]{(k-1)^2}}}{1+\sqrt[3]{k-1}} + \sqrt{3}\left(\operatorname{arctg}\frac{2-\sqrt[3]{k-1}}{\sqrt{3}\,\sqrt[3]{k-1}} + \operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{3}}\right)\right] \quad \ldots (48)$$

ausgedrückt. Ihr Verlauf ist aus Zahlentafel 11 zu entnehmen. Sie zeigt, daß für große Werte von k Gl. (47) in Gl. (40 a) übergeht. Außerdem folgt daraus, daß mit abnehmendem Wert von k, also mit kleiner werdendem Luftüberschuß, die Verbrennungszeit z_0 sehr wesentlich ansteigt. Z. B. ist bei einem

Zahlentafel 11. Einflußfunktion $F(k)$ der Luftüberschußzahl.

k	$F(k)$	k	$F(k)$
1	∞	1,6	1,751
1,1	3,580	1,7	1,663
1,2	2,670	1,8	1,595
1,3	2,263	1,9	1,540
1,4	2,024	2,0	1,494
1,5	1,865	9,0	1,072
1,6	1,751	∞	1,000

Luftüberschuß von 20 vH, also $k = 1{,}20$, die Verbrennungszeit 2,67 mal so groß als bei sehr großem Luftüberschuß, dem Gl. (40 a) entspricht. Bei der Verbrennung mit dem Luftüberschuß Null, also für $k = 1$, ergibt sich sogar eine unendlich große Verbrennungszeit.

Bei der Ableitung der Näherungsgleichungen (40 a) und (47) ist die Temperatur der Kohle als konstanter Mittelwert eingesetzt worden. Zur Gewinnung eines genaueren Ergebnisses müßte diese Beschränkung fallen gelassen und die Temperatur auch veränderlich gesetzt werden. Die Differentialgleichungen werden aber für diesen allgemeinsten Fall so verwickelt, daß keine einfache Lösung möglich ist. Ihre Berechnung soll deshalb zurückgestellt werden, bis die Grundlagen der hier mitgeteilten Theorie der Verbrennung durch Versuche oder an Ergebnissen des praktischen Betriebes geprüft sind.

Die oben aufgestellten Formeln gestatten, die Zündzeit und die Verbrennungszeit angenähert zu berechnen. Nimmt man eine mittlere Geschwindigkeit der Gase im Verbrennungsraum an, so erhält man den Zündweg und den Verbrennungsweg durch Multiplikation mit obigen Zeiten. Eine genauere Berechnung ist aber vorerst nicht möglich, da die hydrodynamische Seite dieses Problems noch nicht gelöst ist. Wenn ein Gasstrahl aus einer Düse austritt und in einen großen Luftraum eindringt, so wird er durch Reibung verzögert, wobei eine Mischung des Strahles mit der Luft eintritt. So lehrreich die diesbezüglichen Versuche von Trüpel[1]), Stodola[2]) und Zimm[3]) auch sind, so geben sie leider doch nicht genügend Anhaltpunkte zur rechnerischen Verfolgung des Verlaufes der Strömung.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, stellen obige Ausführungen keineswegs etwas Abgeschlossenes dar. Sie sollen nur zeigen, daß der Vorgang der Entzündung und Verbrennung in der Kohlenstaubfeuerung rechnerisch verfolgt werden kann. Sie teilen mit, wie man sich diese Vorgänge vorzustellen hat, und sie geben einige Näherungsformeln für die Zündzeit und Verbrennungszeit an. Ich hoffe, daß sie auch schon in dieser Gestalt für die Praxis und für die sehr nötigen Versuche von Wert sind.

[A 2100]

[1]) Th. Trüpel, Über die Einwirkung eines Luftstrahles auf die umgebende Luft, Dissertation, Karlsruhe 1914.

[2]) A. Stodola, Strömung in Düsen und Strahlvorrichtungen, Z. Bd. 63 (1919) S. 31.

[3]) W. Zimm, Über die Strömungsvorgänge im freien Luftstrahl, Forschungsheft 234 1921.

Aus der Werkstatt des Lichtbogenschweißers.

Von Dipl.-Ing. A. Hochstimm, beratender Ingenieur, Charlottenburg.

Die Bedeutung der elektrischen Lichtbogenschweißung ist im Wachsen begriffen; ihr Anwendungsgebiet, die Eigenart des Gleichstrom- und des Wechselstrom-Lichtbogens, der Ausbildungsgang für das Schweißerpersonal und die erzielten Schweißleistungen und Festigkeitsziffern werden ausführlich besprochen.

Die wichtigsten Verwendungsarten des elektrischen Stromes für die Zwecke der Schweißung bilden die Widerstandschweißung und die Lichtbogenschweißung[1]). Beim ersteren Verfahren werden ohne jedes Zusatzmaterial durch entsprechend eingerichtete Werkzeuge geeigneter Schweißmaschinen die einander berührenden Metallteile zusammengeschweißt, indem die betreffende Berührungsstelle durch die Wirkung von Kupferelektroden auf Schweißhitze erwärmt und bei Erreichung der Schweißhitze durch Druck verschweißt wird. Die Lichtbogenschweißung dagegen ist eine reine Schmelzschweißung mit Zusatzmaterial, ohne Druckwirkung; die Schweißwirkung entsteht hierbei dadurch, daß das ursprüngliche und das Zusatzmaterial an der Schweißstelle auf Schmelzwärme gebracht wird, dadurch ineinanderfließt und beim Erkalten eine einheitliche Masse bildet. Beim Lichtbogenschweißen wird die elektrische Energie nicht wie beim Widerstandschweißen durch Kontaktgebung, sondern mittels eines Lichtbogens in Wärme umgewandelt, in dessen Hitze das Zusatzmaterial mit dem Material des Werkstückes zusammenschmilzt und sich mit ihm vereinigt.

Vorteile und Anwendung der Lichtbogenschweißung.

Folgende Vorteile machen die Lichtbogenschweißung gegenüber andern Schweißverfahren besonders wertvoll: Die hohe Temperatur des Lichtbogens bewirkt ein sehr rasches Erreichen der Schmelztemperatur an der Schweißstelle; infolgedessen ist die Schweißung bereits vollzogen, bevor irgendeine nennenswerte Wärmeableitung von der Schweißstelle durch das umgebende Material einsetzen kann. Die Handhabung des Schweißwerkzeuges ist wesentlich einfacher und leichter als bei der Autogenschweißung. Die Lichtbogenschweißung ist in allen Fällen, ausgenommen bei ganz dünnen Blechen, das billigste Schweißverfahren. Die geringe Spannung des Schweißstromes schließt jede Gefahr für den Schweißer aus; ist dieser auch noch mit geeigneten Schutzvorrichtungen gegen die Licht- und Hitzewirkungen des Lichtbogens ausgerüstet, so ist er vor jeder Gefahr geschützt. Schließlich fehlt beim Lichtbogenschweißen auch jede Explosionsmöglichkeit, und endlich eignet es sich auch zum Schweißen von senkrecht verlaufenden Nähten und selbst zum Überkopfschweißen.

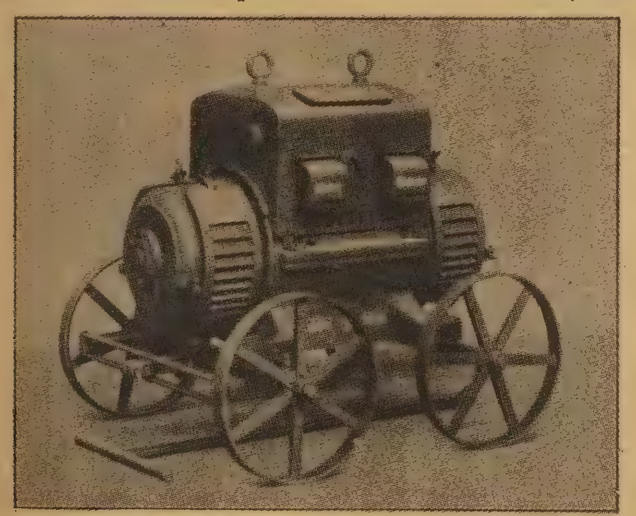


Abb. 1. Fahrbarer Schweißstrom-Erzeuger der Siemens-Schuckert-Werke.

Nachdem die Lichtbogenschweißung vor etwa 20 Jahren von deutschen Fachleuten in Schweden und Amerika eingeführt worden war, hat sie eine der ersten umfangreichen Anwendungen in den amerikanischen Eisenbahnwerkstätten gefunden. Dort wurden auch die großen Erfahrungen gesammelt, die z. B. während des Krieges, sehr zum Nachteil Deutschlands, von den Amerikanern bei der Vornahme von umfangreichen Ausbesserschweißungen an den zerstörten Schiffskesseln und sonstigen wichtigen Bestandteilen der während des Krieges von den Amerikanern beschlagnahmten deutschen Schiffe verwertet wurden. In der Eisenbahnwerkstatt verlängert die Lichtbogenschweißung die Lebensdauer und vermehrt die Fahrtkilometer der mit ihrer Hilfe ausgebesserten Lokomotiven. Sie ermöglicht ferner deren kürzeste Aufenthaltdauer in der Werkstatt und damit zugleich auch die Aufnahme einer größeren Zahl von auszubessernden Lokomotiven, ohne daß die Werkstatträume überfüllt werden. Gebrochene Teile, die sonst unrettbar den Weg zum Altmaterial wandern, können wieder verwertet werden, gleichzeitig kommt man auch mit einem kleineren Lager von Ersatzteilen aus.

Das Wichtigste hierbei ist stets die richtige Übung des Schweißers, und man hat in Erkenntnis dieses Umstandes größten Wert auf die Errichtung von regelrechten Schulen für Lichtbogenschweißer gelegt.

Die überraschend günstigen Ergebnisse, die die Lichtbogenschweißung bei ihrer ausgedehnten Anwendung in den Eisenbahnwerkstätten hatte, führten bald zu einer fortschreitenden Erweiterung ihres Anwendungsgebietes. Man benutzt sie bereits in großem Umfang u. a. zum Aufschweißen von Werkstoff auf abgenutzte Ankerwellen und Radflanschen, zum Schweißen von gebrochenen Motorgehäusen, Drehgestellen von Eisenbahnwagen, Zusammenschweißen von gebrochenen Zahnrädern, Einsetzen neuer Zähne in Zahnräder, Ausfüllen von Gußblasen, Zusammenschweißen von gebrochenen schweren Kurbelwellen, Anschweißen der Spitzen von Hochleistungsstählen auf eiserne Werkzeugschäfte, sogar zum Herstellen von ganzen Eisenkonstruktionen für Hochbauten, im Schiffbau usw.



Abb. 2. Transportabler Schweißtransformator der Gefei-Werke und richtige Ausrüstung und Haltung des Schweißers.

Die Flamme des Lichtbogens erzeugt die größten, praktisch erreichbaren Hitzegrade, und zwar zwischen 3500 und 4000 °C. Beim Benardos-Verfahren verwendet man Kohlen-, beim Slavianoff-Verfahren metallische Elektroden. Mit Kohlenelektroden arbeitet man vornehmlich beim elektrischen Schneiden von Eisen, auch von Gußeisen, und von nicht eisenhaltigen Metallen, ferner beim Auffüllen von Gußblasen und bei ähnlichen Schweißarbeiten, die keine hohen Ansprüche an die Festigkeit der Schweißung stellen. Man schweißt hierbei mit 300 bis 450 A, geht aber bei schweren Werkstücken auch bis auf 600 und 800 A Stromstärke. Der Schweißer hält in der rechten Hand den Elektrodenhalter mit der Kohlenelektrode und zieht mit dieser den Lichtbogen zwischen Elektrode und Werkstück. In der linken Hand hält er den als Zusatzmaterial dienenden Eisendraht so, daß dessen Ende in den Lichtbogen fällt und abgeschmolzen werden kann. Wird mit Gleichstrom-Lichtbogen geschweißt, so liegt der positive Pol grundsätzlich am Werkstück, der negative an der Elektrode. Als Schutz der Augen und des Gesichtes gegen die Licht- und Hitzewirkungen des Lichtbogens trägt der Schweißer eine Maske mit rotem Glas.

Beim Schweißen mit Metallelektroden bildet der Metallstab (Eisendraht) selbst die eine Elektrode, und zwar die negative, wenn mit Gleichstrom-Lichtbogen geschweißt wird. Der Lichtbogen wird also unmittelbar zwischen der Spitze des Eisendrahtes und dem Werkstück erzeugt. Bei richtiger Länge des Lichtbogens arbeitet man zweckmäßig mit nicht mehr als 22 V Spannung bei unbekleideten und 35 V bei bekleideten Elektroden, geht aber auch bis auf 75 V. Die Stromstärke übersteigt gewöhnlich nicht 200 A. Die Schweißung mit metallischen Elektroden ergibt gegenüber Kohlenelektroden eine festere Schweißstelle von weicher und gleichmäßiger Werkstoff-

[1]) s. Z. Bd. 49 (1905) S. 968 und Bd. 55 (1911) S. 1665 u. f.

beschaffenheit. Man benützt in mindestens 90 vH aller vorkommenden Fälle metallische Elektroden für die Lichtbogenschweißung. Die Schweißstelle muß sorgfältig blank gemacht und von jeder Oxyd- und Schmutzschicht befreit werden. Der Schweißer arbeitet gewöhnlich in der Weise, daß er in der rechten Hand den Elektrodenhalter mit der Drahtelektrode hält, in der linken dagegen ein Schutzglas zum Schutz von Augen und Gesicht gegen die Wirkungen des Lichtbogens.

Der Eisendraht, der als Elektrode dient, soll nicht mehr als folgende fremde Beimengungen enthalten: Kohlenstoff 0,25 vH, Mangan 0,99 vH, Phosphor 0,05 vH, Schwefel 0,05 vH, Silizium 0,08 vH. Der gewöhnlich benutzte Draht für Elektroden weist 0,18 vH mittleren Kohlenstoffgehalt und höchstens 0,05 vH Mangangehalt auf, während Phosphor, Schwefel und Silizium nur in Spuren nachweisbar sind. Die Drahtdicken betragen 3 bis 4,5 mm, selten 2,5 mm. Die tatsächlich aufgewandten Strommengen schwanken stark und hängen auch sehr ab von der Form der Schweißstelle. Z. B. hat man gefunden, daß sogenannte überlappte Schweißungen etwa die doppelte Strommenge gegenüber Stumpfschweißungen in Anspruch nehmen.

Gleichstrom- oder Wechselstrom-Lichtbogen.

Zur Erzeugung des für die Lichtbogenschweißung erforderlichen Schweißstromes verwendet man ortfeste oder fahrbare Anlagen, und zwar entweder Sätze, bestehend aus Motor und Schweißdynamo, oder einfache Schweißtransformatoren, d. h. die Schweißung kann entweder mit dem Gleichstrom-Lichtbogen oder mit dem Wechselstrom-Lichtbogen erfolgen. Abb. 1 zeigt einen fahrbaren Stromerzeuger für Gleichstrom-Lichtbogen, Fabrikat der Siemens-Schuckert-Werke, Abb. 2 einen Transformator für Wechselstrom-Lichtbogen, Erzeugnis der Gesellschaft für elektrotechnische Industrie (Gefei), Berlin.

Beim Ankauf von Lichtbogen-Schweißgeräten kann der Besteller gewöhnlich einen sehr heftigen, in Wirklichkeit jedoch durch nichts begründeten Wettbewerb zwischen den Verkäufern der Gleichstrom- und der Wechselstrom-Erzeuger beobachten. Der eine lobt die ausgezeichneten Eigenschaften des Gleichstrom-Lichtbogens, der andre behauptet, die Schweißung mit dem Wechselstrom-Lichtbogen dringe tiefer in den Werkstoff ein. Der Käufer, der genau weiß, daß das Lichtbogen-Schweißgerät nichts andres vorstellt als ein Werkzeug in der Hand des Schweißers, und daß letzten Endes aus diesem Grunde alles von der Tüchtigkeit des Schweißers abhängt, darf sich durch solche Anpreisungen nicht beirren lassen. Es steckt durchaus kein Geheimnis hinter der ganzen Lichtbogenschweißung. Man kann mit jedem beliebigen Gerät und mit jeder beliebigen Stromart schweißen, man kann das Schweißkabel über einen vorgeschalteten Widerstand sogar unmittelbar an ein beliebiges Kraftleitungsnetz anschließen, kann selbst Wasser als Widerstand benutzen. Der Wert des gekauften Gegenstandes entspricht wie bei den meisten andern Dingen auch hier immer dem Wert des hierfür angelegten Betrages.

Dazu kommt, daß die Geräte für Gleichstrom- und für Wechselstrom-Lichtbogen gar nicht miteinander in Wettbewerb zu treten brauchen, weil beide schon je für sich ein sehr umfangreiches und ihrer Eigenart angepaßtes Anwendungsgebiet haben. Die größere Einfachheit des Schweißtransformators für Wechselstrom-Lichtbogen, seine größere Unempfindlichkeit gegen äußere Einflüsse und gegen unsanfte Behandlung, sein geringes Gewicht ermöglichen es ihm, die Hauptrolle bei Ausbesserschweißungen, Gelegenheitsarbeiten, Schweißungen an entlegenen Stellen und unter schwierigen Verhältnissen auszuüben, wo es darauf ankommt, daß ein leicht bewegliches, einfaches Gerät rasch zur Stelle ist und ohne besondere Vorarbeiten schnell arbeitsbereit gemacht werden kann.

Durch richtige Bemessung und Beachtung aller in Betracht kommenden Einflüsse ist es gelungen, für die Schweißung mit dem Wechselstrom-Lichtbogen Schweißtransformatoren mit einem Gewicht von nur 45 kg zu bauen, die also in bezug auf Transportfähigkeit den weitesten Ansprüchen genügen. Durch richtige Wahl des Maßes der magnetischen Streuung und der Spulenanordnung läßt sich überdies die Stabilität des Wechselstrom-Lichtbogens so weit vergrößern, daß er sich praktisch kaum von einem Gleichstrom-Lichtbogen unterscheidet.

Das bequeme Halten des Wechselstrom-Lichtbogens wird insbesondere durch eine hohe Leerspannung erleichtert. Durch eine solche wird zwar, da der Abfall von der Leerspannung auf die Arbeitspanung dann groß ist, der Nutzeffekt des Transformators verschlechtert, doch hat dies für die normalen Ausbesserarbeiten keine praktische Bedeutung, weil in den meisten Fällen die Kosten des verbrauchten Stromes in gar keinem Verhältnis zu dem hohen Wert des zu schweißenden Objektes stehen. Niedrigere Leerspannung dagegen gibt günstige Stromverhältnisse, verlangt aber eine Schweißung mit besonders kurzem Lichtbogen, stellt daher bedeutend höhere Anforderungen an die Geschicklichkeit des Schweißers. Sie sichert anderseits eine hohe Güte der Schweißstelle.

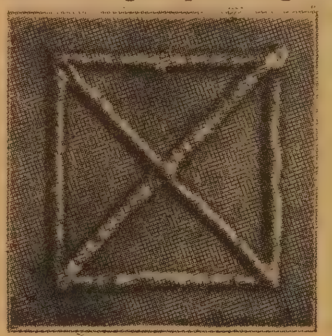
Das Anwendungsgebiet des Gleichstrom-Lichtbogens ist demnach dort zu suchen, wo in dauernder Arbeit und in ununterbrochenem Zuge größere Schweißungen vorzunehmen sind, also z. B. bei der Herstellung von Schiffskörpern und andern Gegenständen mit sehr langen Nähten, die ein viele Stunden langes, ununterbrochenes Schweißen erfordern; ferner in solchen Werkstätten, die dauernd umfangreiche Schweißarbeiten ohne Unterbrechung auszuführen haben, also in großen Ausbesserwerkstätten, die ständig eine Anzahl Schweißer beschäftigen.

Demgegenüber wird man die Schweißung mit dem Wechselstrom-Lichtbogen überall da vorziehen, wo Schweißungen vornehmlich als Gelegenheitsarbeiten vorkommen, also beim Ausbessern von gebrochenen Maschinenteilen, Kesseln, Ankerwellen, zum Aufschweißen von Zusatzwerkstoff auf abgenutzte Gebrauchgegenstände der Landwirtschaft usw., welche Gegenstände in solchen Fällen sonst als Altmetall verlorengehen; ferner überall dort, wo man zwar Bedenken hat, das hochwertige Gleichstrom-Schweißgerät hinzubringen, während man es jedoch nicht scheut, den kleinen, robusten Schweißtransformator dort zu verwenden, also z. B. auf offener Strecke bei Unfällen aller Art, insbesondere im Eisenbahnbetriebe, dann bei Zusammenbauarbeiten, schließlich auf Landgütern und kleineren, auf dem Lande gelegenen Betrieben, ebenso in jeder Dorfschmiede und in jeder Schmiedewerkstatt, die Ausbesserarbeiten ausführt. Ein leicht beweglicher, möglichst wenig verwickelter Lichtbogen-Schweißapparat, der sofort arbeitsbereit ist, kann in solchen Fällen geradezu als Retter in der Not wirken.

Wird nicht in ununterbrochenem Zuge geschweißt, so sind beim Gleichstrom-Lichtbogen auch die Leerlaufkosten nicht mehr unbeträchtlich; denn der Schweißer wird in den unvermeidlichen Arbeitspausen und auch nach Beendigung seiner Schweißarbeit den Motor für seine Schweißdynamo schon aus Trägheit nicht abstellen, bevor er nicht die Gewißheit hat, daß seine gesamte Schweißarbeit beendet ist. Während der ganzen Pausen und bis zum Abstellen läuft der Motor also leer, was sich auf die Dauer zu nicht unbeträchtlichen Stromkosten summiert. Der Schweißtransformator für Wechselstrom-Lichtbogen dagegen ist in jeder Schweißpause primärseitig vom Leitungsnetz abgeschaltet, so daß keine Leerlaufkosten entstehen.

Ausbildung der Schweißer.

Da der Erfolg der Lichtbogenschweißung in so hohem Maße von der Übung und Tüchtigkeit des Schweißers abhängt, ist es lohnend, für eine sorgfältige Ausbildung von Lichtbogenschweißern ganz planmäßig vorzusorgen. Der Schweißer ist mit



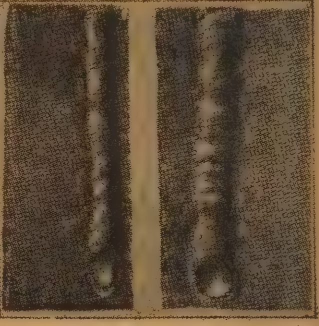


Abb. 3 bis 5. Übungen für den Schweißer, Einhalten bestimmter Richtungen und Materiendicken.

einer zweckmäßigen Bekleidung und mit einem guten Schutz für Augen, Gesicht und Hände, also mit Schutzmaske, Handschuhen, Lederschurz und Lederschuhen auszurüsten. Der Arbeitsraum soll von Zugluft freigehalten werden, da sie den Lichtbogen ungünstig beeinflußt. Es empfiehlt sich auch, die Schweißerwerkstatt mit einem dunklen Anstrich zu versehen und auf diese Weise starke Reflexwirkungen der Lichtbogenstrahlen zu verhindern.

Die eine Elektrode, und zwar beim Gleichstrom-Lichtbogen die positive, wird an eine größere eiserne Unterlagplatte, die als Arbeitstisch dient, oder bei größeren Werkstücken unmittelbar an das Werkstück angeschlossen. Von dem andern Pol geht der Strom über das Schweißkabel und den Elektrodenhalter zur metallischen Drahtelektrode. Wichtig ist es, daß der Schweißer von Anfang an lernt, den Lichtbogen so kurz wie möglich zu halten. Durch den kurzen Lichtbogen wird die Güte der Schweißung wesentlich verbessert, wenn es auch schwieriger ist, einen kurzen Lichtbogen längere Zeit ohne Störung zu halten. Erleichtert wird dies durch Verwendung von bekleideten Elektroden.

Die erste Aufgabe, die dem Schweißer zu stellen ist, besteht in der richtigen Handhabung des Lichtbogens. Abb. 2 zeigt die richtige Haltung und Ausrüstung eines Lichtbogenschweißers. Die Verwendung einer Maske als Augen- und Gesichtschutz gibt ihm die linke Hand frei, die er aufs Knie aufstützen kann. Dadurch hat er die Möglichkeit, den Körper während des Schweißens besonders ruhig zu halten, und er kann nötigenfalls die Elektrode mit beiden Händen halten. Ein rotes Glas schützt die Augen des Schweißers gegen die Wirkungen des Lichtbogens. Da die ultravioletten Strahlen aber auch auf die nicht bedeckte Haut des menschlichen Körpers Brand-

wirkungen ausüben, ist bei andauernder Schweißarbeit die Benutzung einer Maske derjenigen eines in der Hand zu haltenden Schutzglases vorzuziehen. Die Hand des Schweißers erhält Lederhandschuh, und seine Kleidung wird in geeigneter Weise gegen die Wirkungen der umherspritzenden Funken geschützt. Der Schweißer beginnt seine Arbeit mit einer Elektrode von rd. 4 mm Dmr., die er an dem einen Ende im Elektrodenhalter befestigt. Das andre Ende des Drahtes nähert er nun der Schweißstelle, streicht über sie und zieht es sodann leicht weg, womit er den Lichtbogen herstellt. Bei einiger Übung wird er es verhindern können, daß der Draht beim Berühren des Werkstückes an diesem anklebt und weggerissen werden muß, wodurch der Lichtbogen selbst wieder abreißen würde. Der Schweißer wird vielmehr durch eine leichte drehende Bewegung der Hand um die Elektrodenspitze als Mittelpunkt sehr bald die Übung erlangt haben, die zum leichten Abheben des Drahtendes und zum Ziehen des Lichtbogens nötig ist. Mit dem fortschreitenden Niederschmelzen des Drahtes muß die Drahtspitze der Schweißstelle fortschreitend so weit genähert werden, daß der Lichtbogen seine geringe Länge beibehält und nicht abreißt. Diese Übung ist so lange fortzusetzen, bis der Schweißer imstande ist, einen Draht von 30 bis 35 cm Länge bei einer Schweißstromstärke von 150 A ohne Unterbrechung des Lichtbogens auf eine Eisenplatte von 10 bis 15 mm Dicke niederzuschmelzen. Bei 3 mm Länge des Lichtbogens wird er hierbei mit einer Spannung von weniger als 25 V arbeiten. Je nach der Geschicklichkeit des Schweißers gelingt ihm diese Aufgabe schon nach einstündiger Übung oder erst nach zwei bis drei Tagen. Ist er auch dann noch nicht soweit, so kann man annehmen, daß er sich zum Lichtbogenschweißer nicht eignet.

a b

Abb. 6. Mit kurzem Abb. 7. Mit langem Lichtbogen geschweißte Naht.

Die nächste Aufgabe für den Schweißer besteht darin, das Schweißgut längs bestimmter, vorgeschriebener Linien niederzuschmelzen, also eine bestimmte Richtung einhalten zu lernen, indem er z. B. die vier Seiten eines Rechteckes und dann dessen beide Diagonalen herstellt, Abb. 3. Dann können andre Linien, z. B. Quadrate, Kreise, Buchstaben usw., an die Reihe kommen.

Sodann folgt die Aufgabe, das niederzuschmelzende Drahtmaterial in einer vorgeschriebenen Höhe aufzutragen, z. B. in Höhen von 1½ mm, 3 mm, 4½ mm. Bei Elektroden von 4 mm Drahtdicke und 150 A Stromstärke soll man, falls nicht besondere Aufgaben gestellt sind, eine Höhe von rd. 3 mm erreichen. Abb. 4 zeigt das Aussehen des niedergeschmolzenen Drahtmaterials, wenn der Elektrodendraht ausschließlich in der Längsrichtung der Naht weitergeführt wird. Macht man dagegen gleichzeitig mit dem Ende der Elektrode, also mit dem Lichtbogen, fortdauernd leichte Bewegungen quer zur Längsrichtung der Schweißnaht, so verbreitert man die Schweißstelle entsprechend Abb. 5, ohne deren Höhe zu vergrößern, und verbessert dadurch die Vereinigung des benachbarten Werkstoffes mit dem Elektrodeneisen.

Daß ein kurzer Lichtbogen von nicht mehr als rd. 3 mm Länge am besten geeignet ist, das Oxydieren und Verbrennen des Schweißgutes zu verhindern, erklärt sich dadurch, daß die im Lichtbogen gebildeten Dämpfe von Manganoxyd und Kohlendioxyd, die aus der Vereinigung des atmosphärischen Sauerstoffes mit dem Mangan- und Kohlenstoffgehalt des geschmolzenen Elektrodendrahtes entstehen, hierbei eine Art Schutzhülle um den Lichtbogen bilden und den weiteren Zutritt von Sauerstoff in den Bereich dieses Lichtbogens verhindern. Der Schweißer muß während seiner Lehrzeit Gelegenheit erhalten, die Wirkungen eines kurzen mit denjenigen eines langen Lichtbogens zu vergleichen. Abb. 6 zeigt eine mit kurzem, Abb. 7 eine mit langem Lichtbogen geschweißte Naht. Die Oberfläche der letzteren ist sehr unregelmäßig und mit einer dicken Eisenoxydschicht bedeckt.

Die nächste, sehr wichtige Übung für den Schweißer besteht darin, eine Anzahl von Schweißungen mit Stromstärken von 100, 150 und 200 A bei Verwendung von unbekleideten und von bekleideten Elektroden mit verschiedenem Gehalt von Kohlenstoff und Mangan auszuführen. Alle diese Schweißproben sind vom Schweißer selbst zu schleifen und mit Salpetersäure von 10 vH zu ätzen, um auf diese Weise ihre kennzeichnenden Eigenschaften hinsichtlich Überlappungsbreite und Eindringungstiefe zu prüfen.

Die Wirkungen der Zusammenziehung des niedergeschmolzenen Elektrodeneisens beim Erkalten (Kontraktionswirkung) wird der Schweißer mit folgenden Proben am besten erkennen und beurteilen:

1. Auf ein Flacheisen wird der Länge nach ein Stück Draht niedergeschmolzen: das Flacheisen krümmt sich infolge der Zusammenziehung seiner Länge derart, daß die beiden Enden sich nach aufwärts biegen.

2. Auf den Umfang eines eisernen Rohres wird eine ringförmige Eisenschicht aufgeschweißt: das Rohr erfährt an dieser Stelle durch die Kontraktionswirkung des erkalteten Schweißgutes eine Einschnürung.

3. Zwei Flacheisen werden derart nebeneinandergelegt, daß ein Spalt von rd. 3 mm Breite dazwischen offenbleibt. Der Spalt wird durch Lichtbogenschweißung geschlossen: durch die Kontraktionswirkung werden die beiden Flacheisen aus ihrer gemeinsamen Ebene um den von der Schweißstelle eingenommenen Rand herausgedreht.

4. Zwei nebeneinanderliegende Flacheisen, die einen Spalt von rd. 3 mm Breite zwischen sich freilassen, werden an dem einen Ende dieses Spaltes mittels Lichtbogens zusammengeschweißt: durch die Zusammenziehung schließt sich der Spalt am andern Ende.

Der Querschnitt der Schweißstelle soll im allgemeinen V-förmig sein. Die beiden Schenkel des V weisen gegeneinander einen Winkel von rd. 60° auf. An der unteren Spitze erhalten die Schenkel eine Entfernung von rd. 3 mm. Ist es möglich, die Schweißstelle von beiden Oberflächen aus zu erreichen, so wird man noch bessere Ergebnisse erhalten, wenn man sie in Form eines X derart ausarbeitet, daß der Mittelpunkt dieses X in der Querschnittmitte liegt und die Schenkel nach oben und unten auseinandergehen. An der engsten Stelle beträgt hierbei der freie Abstand wieder rd. 3 mm, und die Schenkel sind gegeneinander um 60° geneigt. Die Stromstärke wird so geregelt, daß der am jeweiligen Ende der Schweißnaht auftretende Krater mindestens 1,5 mm Tiefe zeigt. Die Stromdichte wählt man erfahrungsgemäß für den Querschnitt des Schweißdrahtes mit rd. 13 A/mm².

Bei dickeren Werkstoffen darf man die V-förmig ausgearbeiteten Schweißfugen nicht in einem Zuge voll auffüllen, sondern man vereinigt mit der ersten Lage zunächst die tiefsten Punkte der V-förmigen Fuge und deckt diese Schicht dann mit weiteren Lagen so lange, bis die oberste Schicht die benachbarte Oberfläche um 1,5 bis 3 mm überragt. Abb. 8 bis 18 zeigen einige zweckmäßige Formgebungen für die Ausführung von Lichtbogenschweißungen.

A

B

C

D

F

Abb. 8 bis 12. Formgebungen für die Ausführung von Lichtbogenschweißungen.

Während heute in Deutschland und anderswo die Lichtbogenschweißung schon lange für die verschiedensten Zwecke erfolgreich ausgeübt wird, war es beispielsweise noch in den Kriegsjahren eine unerhörte Leistung, als in Amerika auf Grund der ausgedehnten Erfahrungen in den dortigen Eisenbahnwerkstätten auch umfangreiche Lichtbogenschweißungen zur Ausbesserung von beschädigten Schiffskörpern und insbesondere Schiffsmaschinen erfolgreich ausgeführt wurden. Man ist dort und an andern Stellen schon in weit größerem Umfang als in Deutschland dazu übergegangen, die Lichtbogenschweißung auch im Schiffbau weitgehend zu verwenden und damit namhafte Ersparnisse an Zeit und Werkstoff gegenüber dem Nieten zu erzielen, sowie die erreichbare Nutzlast wesentlich zu steigern.

Über die erzielbaren Schweißleistungen läßt sich sagen, daß man durchschnittlich bei Blechen von rd. 10 mm Werkstoffdicke rd. ¾ bis 1 kg/h Eisendraht niederschmelzen kann, wenn man unbekleidete Elektroden von etwa 4 mm Dicke verwendet. Das verbrauchte Elektrodeneisen ist hierbei im Gewicht um etwa den dritten Teil höher, jedoch gehen auf die nicht verwendbaren kurzen Drahtenden rd. 16 vH und auf verbranntes oder verdampftes Eisen rd. 13 vH ab. Übrigens wird man die kurzen Enden durch Widerstandschweißung in der Stumpfschweißmaschine jederzeit wieder zu brauchbaren längeren Drähten zusammenschweißen können, wodurch eine weitere Materialausnutzung gegeben ist.

Die Schweißgeschwindigkeit ändert sich sehr stark mit der Werkstoffdicke, der Breite der Schweißzone, der Form der Schweißnaht sowie mit den Stromverhältnissen. Das Durchschnittsmaß von 1 m Schweißnaht in der Stunde bei rd. 12 mm Blechdicke kann zwar einen gewissen Anhaltspunkt geben, kann aber in bestimmten Fällen sehr stark nach oben und unten abweichen. Es gilt für einen mittleren Elektrodenverbrauch von etwa 1 kg auf 1 m geschweißte Naht und bezieht sich nur auf die reine Schweißdauer, ohne die Zeit für die zur Schweißung nötigen vorbereitenden Arbeiten. Zur Vermeidung von Irrtümern empfiehlt es sich, ausschließlich die Eisenmenge, die man beim Schweißen stündlich niederschmelzen kann, für die Beurteilung der Schweißung heranzuziehen.

Die zweckmäßige Schweißstromstärke und Elektrodendrahtdicke ist je nach der Person des Schweißers verschieden. Beim Stumpfschweißen mit X-förmigem Profil der Schweißstelle und Werkstoffdicken von 10 bis 15 mm arbeitete der eine Schweißer besser mit 100 A, der andre mit 150 A, der eine mit 4 mm Elektrodendicke, der andre sogar mit 8 mm. Bei V-förmigem Profil arbeitet man bei diesen Werkstoffdicken zweckmäßig mit 200 A Stromstärke, für die erste Lage mit etwa 150 A. Steigt die Blechdicke bis auf 20 mm, so vergrößert man die Stromstärke bis auf etwa 300 A. Bei höherer Stromstärke wächst bis zu einem gewissen Grade die Zug- und Biegungsfestigkeit. Veränderungen der Spannung des Schweißstromes lassen nennenswerte Unterschiede in der Festigkeit und im Aussehen der Schweißnaht nicht erkennen; höhere Spannungen vermindern bis zu einem gewissen Grade die Schwankungen der Schweißstromstärke. Über die Dicke des Elektrodendrahtes gehen die Meinungen auch noch vielfach auseinander. Als Stromdichte empfiehlt man häufig 6 bis 10 A/mm², während von andrer Seite bei 3 bis 4 mm Drahtdicke 17 bis 20 A/mm² Stromdichte, bei 4,5 bis 6 mm Dicke eine solche bis zu 17 mm² gefordert wird.

Aus einem Bericht über umfangreiche chemische und mechanische Prüfungen an Lichtbogenschweißungen[1]) seien noch die nachstehenden Einzelheiten erwähnt. Aus dem mittels Gleichstrom-Lichtbogenschweißung niedergeschmolzenen Werkstoff wurden stabförmige Blöcke hergestellt und aus diesen Blöcken die Versuchstücke herausgearbeitet. Zum Schweißen benutzte man unbekleidete und bekleidete Elektroden; als Bekleidung diente hierbei eine Masse, bestehend aus 15 g Graphit, 7,5 g Magnesium, 4 g Aluminium, 65 g Magnesiumoxyd, 60 g Kalziumoxyd, 120 cm³

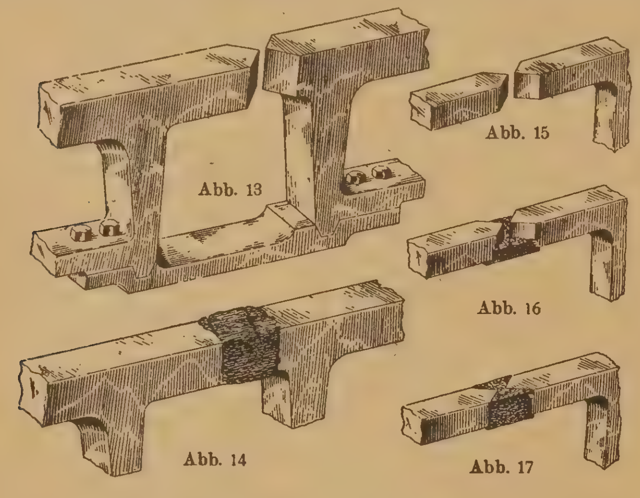


Abb. 13 bis 17. Vorbereitung und Auffüllung der Schweißstelle.

Wasserglas und 150 cm³ Wasser. Kennzeichnend war bei allen chemischen Proben das vollkommene Verschwinden des Kohlenstoff- und Siliziumgehalts, und der große Verlust an Mangangehalt. Eine besondere Wirkung der Bekleidung der Elektroden konnte nicht festgestellt werden. Weiter war besonders auffallend die beträchtliche, fast durchaus gleichmäßige Zunahme des Stickstoffgehalts im niedergeschmolzenen Metall, die nur bei zunehmender Stromdichte prozentual noch größer wurde, während bei geringer Stromdichte der Stickstoffgehalt zusehends abnimmt.

Die Zerreißproben ergaben eine sehr geringe Dehnung des Versuchsmaterials. Ein besonderer Einfluß der Elektrodenbekleidung auf die Festigkeitseigenschaften war nicht zu erkennen.

[1]) Vgl. Ethan Viall, „Electric Welding", New York 1921.

Die Zerreißfestigkeit der Probestücke senkrecht zur Richtung der Schweißnaht war ganz allgemein erheblich geringer als in der Richtung der Schweißnaht.

Die Veränderungen in der Zusammensetzung des Werkstoffes vor und nach der Schweißung gehen aus den folgenden Zahlen hervor:

Drahtdicke	Kohlenstoff vH		Silizium vH		Mangan vH		Stickstoff vH	
mm	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
3	0,058	0,046 0,031[2])	0,33	0,007 0,007[2])	0,042	—	0,003	0,156 0,149[2])
3	0,15	0,027 0,024[2])	0,06	0,008 0,010[2])	0,47	—	0,032	0,152 0,141[2])

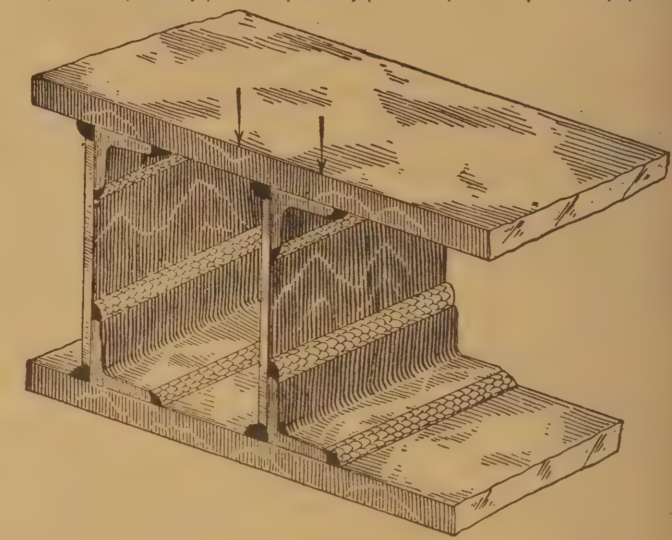


Abb. 18. Lichtbogenschweißung für eiserne Träger.

Die Festigkeitsziffern ergeben sich aus nachstehender Aufstellung:

	Zerreißfestigkeit	Proportionalitätsgrenze	Dehnung	Querschnittsverminderung
	kg/mm²	kg/mm²	vH	vH
Elektrodenmaterial	46—48	30—50	9—16	51—69
Probestab in der Richtung der Schweißung	32—40	17—23	8—9	5,5—21
Probestab quer zur Richtung der Schweißung . .	30	17	4—6,5	3—8,5

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Lichtbogenschweißung als ausgesprochene Schmelzschweißung bewirkt, daß das niedergeschmolzene Metall wichtige Eigenschaften gegenüber dem Zustand vor dem Schmelzen verliert. Der Unterschied des Verfahrens beim Niederschmelzen des Werkstoffs im Lichtbogen gegenüber dem normalen Herstellungsverfahren von Metallguß und Metallschmelzungen hat zur Folge, daß die Güte der Lichtbogenschweißung in einem ganz besonders hohen Maße von der Geschicklichkeit, Sorgfalt und Geduld des Schweißers abhängt. Die Wahl einer bestimmten Eisendrahtgüte für die Elektroden ist demgegenüber von ganz untergeordneter Bedeutung, da während der Lichtbogenschweißung jede Drahtsorte auf die gleiche Weise in ihren Bestandteilen verändert wird. Auch die Bekleidung der Elektroden hat auf die Güte der Schweißstelle keinen nennenswerten Einfluß; sie erleichtert nur dem Schweißer das Arbeiten.

Ähnliche Versuche wurden vielfach auch mit dem Wechselstrom-Lichtbogen gemacht. Hierbei gelangte man stets von neuem zu der Erkenntnis, daß die Eigenschaften der Schweißstelle ganz unabhängig sind von der Stromart, daß es also für das Metall ganz gleich ist, ob es mit dem Gleichstrom- oder dem Wechselstrom-Lichtbogen niedergeschmolzen wird. Wo immer man scheinbar Unterschiede herausfinden wollte, ließen sie sich stets ausschließlich auf Unterschiede in der Geschicklichkeit des Schweißers zurückführen, niemals aber auf einen besonderen Einfluß der Stromart auf das zu schweißende Metall. [A 1962]

[2]) Gilt für bekleidete Elektroden.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Wärmewirtschaft.

Die französische Wärmewirtschaft und ihre Tagung im Juni 1923[1]).

Im Juni 1923 fand die erste Tagung der französischen wärmewirtschaftlichen Organisationen statt. Dabei wurden eine große Anzahl von Vorträgen aus den verschiedensten Gebieten der Wärmewirtschaft gehalten, die einmal einen Einblick in den Stand und die Arbeitsweise der französischen Wärmewirtschaft geben und anderseits auch viele für den deutschen Ingenieur beachtenswerte Unterlagen bringen. Die Vorträge sind vor kurzem in zwei zusammen über 800 Seiten starken Sonderheften der Zeitschrift „Chaleur et Industrie" erschienen.

Eine größere Anzahl von Berichten ist zu einem Abschnitt „Untersuchungsmethoden von Brennstoffen" zusammengefaßt. Sie handeln teilweise von der Bestimmung des Schlackenschmelzpunktes, von der Prüfung der Verkokbarkeit verschiedener Kohlensorten sowie von den Verfahren zur Bestimmung der Feuchtigkeit und des Gehalts an flüchtigen Bestandteilen.

Ein besonderer Teil ist der Frage des oberen oder unteren Heizwertes von Brennstoffen gewidmet. An einen eingehenden Bericht von Roszak und einen kurzen und klaren Vortrag von Wirtz schloß sich eine umfangreiche Aussprache, worin zunächst die Ansichten weit auseinander gingen; doch wurde schließlich der einstimmige Beschluß gefaßt, künftig nur mehr mit dem oberen Heizwert zu rechnen, zur Kennzeichnung des Brennstoffes aber die Elementaranalyse oder die Verdampfungswärme des im Brennstoff enthaltenen und des bei der Verbrennung entstehenden Wassers anzugeben. Trotz eingehender Würdigung gewisser Vorteile des unteren Heizwertes waren für diesen Beschluß schließlich die zahlreichen Vorteile des oberen Heizwertes maßgebend (unmittelbare Bestimmbarkeit, einwandfreie Wärmebilanzen, Erfassung sämtlicher, wenn auch teilweise nicht vermeidbarer Verluste). Es scheint auch in Deutschland zweckmäßig, diese Frage zu klären und zu einem einheitlichen Ergebnis zu kommen.

Ein Abschnitt über Methoden und Geräte der wärmewirtschaftlichen Forschung und Betriebsüberwachung erweckt trotz einiger sehr bemerkenswerter Aufsätze den Eindruck, daß man in Frankreich erst am Anfang eines Weges steht, auf dem wir bereits ein großes Stück zurückgelegt haben. Es fehlt dort jene hochstehende feinmechanische Industrie, die in der Lage wäre, die im Laboratorium erprobten Meßgeräte für den Betrieb umzubilden. Mit diesem Gebiet befaßt sich nur ein Aufsatz, der verschiedene Meßgeräte der Rateau-Gesellschaft behandelt. Ihre Gas- und Dampfmesser bieten gegenüber den bei uns gebräuchlichen weder grundsätzlich noch in ihrer Ausführung besondere Vorteile, dagegen ist ein neues von Rateau ausgebildetes Meßverfahren zur Bestimmung der Dampffeuchtigkeit bemerkenswert. Hierbei wird eine gewisse Dampfmenge laufend der Rohrleitung entnommen; die Hälfte davon wird durch einen Gasbrenner überhitzt und dann mit dem Restdampf gemischt. Aus der Überhitzungs- und der Mischtemperatur kann man die Dampffeuchtigkeit berechnen. Ungelöst bleibt allerdings nach wie vor die Frage, inwieweit die entnommene Dampfprobe den gleichen Feuchtigkeitsgehalt wie der Dampf in der Leitung hat. Sehr wertoll sind die Untersuchungen von Prof. Chevenard über die Verwendung von Sonderlegierungen zu Temperaturmessungen. Er zeigt, daß eine Reihe von Metallen und Legierungen die Ausdehnziffer, die spezifische Wärme und die Thermokraft bei einer ganz bestimmten Temperatur sprunghaft ändert. In der Gegend dieser Temperatur ist das Metall zu Meßzwecken nicht geeignet. Man kann aber diese kritische Temperatur durch Legierungen planmäßig derart verschieben, daß sie aus dem Meßbereich herausfällt. Als besonders geeignet kommen Nickel-Chrom-Legierungen zur Erzeugung positiver und Kupfer-Nickel-Legierungen (Konstantan) zur Erzeugung negativer Thermokräfte in Frage. Auch Nickel-Aluminium-Legierungen ergeben starke Thermokräfte. In einem weiteren Teil der Abhandlung wird die Messung hoher Temperaturen durch Kalorimetrieren besprochen und ein Kupfer-Kalorimeter beschrieben, das eine Vereinfachung des von Nernst verwandten darstellt und Temperaturen bis zu 1000° mit etwa 15° Genauigkeit mißt.

Eingehend wurden auch Vorschläge besprochen, die auf die Einführung von Versuchsnormen für Dampferzeuger und Gaserzeuger hinzielen. Während für Gaserzeuger mit geringen Änderungen die vom Verein deutscher Eisenhüttenleute 1914[2]) herausgegebenen angenommen wurden, konnte man sich auf Normen für die Dampferzeuger nicht einigen. Trotz der großen Bedeutung dieser Frage hat Frankreich wohl als der einzige größere Industriestaat hierfür keine Normen. Der Hauptbericht von David Brownlie hält die bisherigen deutschen, englischen und amerikanischen Normen für veraltet und stellt ihnen eigene Vorschläge gegenüber. Er verlangt neben achtstündigen Versuchen im Beharrungszustand einwöchentliche Versuche im Betriebszustand. Ferner läßt er als Meßgeräte in weitem Umfang in der Anlage eingebaute aufschreibende Geräte wie CO_2- und CO-Prüfer und auch Wassermesser zu, sofern sie unter Betriebsbedingungen eichbar sind. Die vorgeschlagenen Vordrucke für Versuchsberichte sind so umfangreich, daß ihre praktische Verwendung meines Erachtens ausgeschlossen ist. Auch einige seiner sonstigen Vorschläge lassen die genügende wissenschaftliche Schärfe vermissen. Der Kongreß konnte sich seinen Vorschlägen nicht anschließen.

Unter den umfangreichen Abhandlungen über Untersuchungen an Gaserzeugern, Dampferzeugern, metallurgischen und keramischen Öfen gibt einen guten Überblick über die Wärmewirtschaft in England ein Bericht von Brownlie, der eine außerordentlich große Anzahl von Verdampfversuchen behandelt. Er findet einen mittleren Kesselwirkungsgrad von weniger als 60 vH und ist der Ansicht, daß durch sorgfältige bauliche Ausbildung der Anlagen und wissenschaftliche Betriebsüberwachung der Wirkungsgrad auf mindestens 75 vH gesteigert werden könnte. Da etwa 45 vH der Weltkohlenerzeugung unter Dampfkesseln verbrannt werden, würde dies eine jährliche Ersparnis von 125 bis 140 Mill. t bedeuten. Als Hauptverlustquellen bezeichnet Brownlie das Fehlen oder zu kleine Abmessungen von Vorwärmern und Überhitzern, den sehr hohen Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen, insbesondere der in England verbreiteten Dampfstrahlgebläse, und unsachverständige Führung des Kesselbetriebes.

Von weiteren Abschnitten über Versuche an metallurgischen und keramischen Öfen, über die Zusammensetzung der Kohle, über Tieftemperaturverkokung und über methodische Verwendung der Wärme in der Industrie sind besonders die ausführlichen Berichte von Sohm zu beachten, die sich mit umfangreichen Versuchen mit Kohlenstaubfeuerungen im elektrischen Kraftwerk der Zechen von Bruay befassen. In zwei Kesselhäusern stehen dort je 16 Büttner-Kessel, wovon die eine Hälfte noch mit veralteten selbsttätigen Rosten ausgestattet, die andre auf Kohlenstaubfeuerung umgebaut ist. Diese hat sich bisher auch im Dauerbetrieb sehr gut bewährt. Nach ununterbrochenem 120- bis 150tägigem Betrieb wurden bisher keine wesentlichen Beschädigungen des Mauerwerks beobachtet. Besonders günstig sind die wirtschaftlichen Ergebnisse; die Dampflieferung der mit Kohlenstaubfeuerung arbeitenden Kessel war fast doppelt so hoch wie die der andern, der spezifische Kohlenverbrauch betrug nur 64 vH, die Dampfkosten betrugen 58 vH der mit den Vergleichskesseln erreichten Zahlen. Besonders bemerkenswert ist auch die Regelbarkeit der Feuerung, die sich, wie die Diagramme zeigen, den größten Laständerungen ohne wesentliche Druckschwankungen anpaßt. So gelang es nach dem Abstellen der Brenner eines Kessels dessen Dampflieferung im Zeitraum von 20 min von Vollast auf Leerlauf herabzumindern und nach einstündiger Pause innerhalb 11 min wieder die Vollbelastung zu erreichen. Die Versuche scheinen geeignet, die Einführung der Kohlenstaubfeuerung in Betrieben mit rasch wechselnder Belastung vorzubereiten.

Eine Reihe von Vorträgen befaßt sich mit der Aufgabe, den Gesamtwirkungsgrad einer Anlage durch gleichmäßige Belastung zu heben. Ein Aufsatz von Drosne behandelt das Problem in bekannter Weise durch den Einbau von Ruthsspeichern, wovon auch in Frankreich einige Anlagen der Vollendung entgegengehen. Zwei weitere Berichte von Bergeon und Gros packen dagegen die Aufgabe von der Seite des Verbrauchers an und suchen Absatzmöglichkeiten zu schaffen, die sich in einem Fall den wechselnden Stromlieferungen von Wasserkräften anpassen, im andern Fall die unvollkommene Ausnützung der Gaskraftwerke von Hütten beheben sollen. Bergeon sucht die Lösung durch elektrisch geheizte Dampfkessel und macht dabei außer einigen recht aussichtsreichen Vorschlägen andre, die wirtschaftlich wohl kaum von Erfolg sein werden. Gros dagegen schlägt vor, die freien Leistungen der Gaskraftwerke unter voller Ausnutzung der Gichtgase während der täglichen kurzen Betriebspausen und am Sonntag zur Erzeugung von Luftstickstoff im elektrischen Lichtbogen zu verwenden. Nach einer eingehenden Betriebskostenberechnung können bei den gegenwärtigen Stickstoffpreisen für den elektrischen Strom Preise bezahlt werden, die einen sehr wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen. [M 18] Pauer.

[1]) Vergl. „Archiv für Wärmewirtschaft" Bd. 5 (1924) Heft 1.

[2]) „Stahl und Eisen" Bd. 34 (1914) S. 236.

Elektrotechnik.

Der Ausbau des Großkraftwerkes Big Creek 3.

Die Wasserkraftanlagen am Big Creek der Southern California Edison Co.[3]), die nach Ausbau aller Einzelwerke zu den größten Kraftanlagen der Welt zu rechnen sein werden, sind nach „Power" vom 23. Oktober 1923 durch die Inbetriebnahme des Werkes 3 ihrer Vollendung einen bedeutenden Schritt nähergebracht worden.

Das Werk 3 liegt unterhalb des vor einigen Jahren fertiggestellten Werkes 8[3]). Es umfaßt drei Maschinensätze von je 35 000 PS bei 232 m Gefälle, die endgültige Leistung soll 200 000 PS betragen. Die Anlage wird vom San Joaquinfluß durch eine unterirdische Abzweigung von 9,6 km Länge gespeist. Die Überlandleitung für 220 kV Spannung ist rd. 440 km lang. Die Anlage enthält gegenüber den früher in Betrieb genommenen einige Neuerungen. An jedem Lager des Maschinensatzes befindet sich eine besondere Ölpumpe, wodurch größere Ölbehälter und das dazu gehörende Rohrnetz überflüssig wurden. Der Bedienungsraum liegt auf zwei Ebenen, einer in Höhe des Grundrahmens des Stromerzeugers und einer etwas tieferen in Höhe des oberen Teiles der Turbine, so daß der Bedienungsmann jederzeit die gesamte Anlage übersehen kann. Die Druckrohre sind überlappt geschweißt, ihr Durchmesser nimmt von 2,3 auf 1,8 m ab. An ihrem oberen Ende befinden

[3]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 733 und Bd. 67 (1923) S. 157.

sich Doppelklappenventile von 2,3 m Dmr., die vom Maschinenhaus aus betätigt werden können. Unten ist ein Nadelventil in die Druckrohre eingebaut. Von dem Kraftwasserstollen wird das Wasser zunächst durch ein 5,5 m weites Rohr einem besonders ausgebildeten Verteilrohr zugeführt, das mit den Druckrohren verbunden ist. Von diesen sind vorläufig nur drei ausgeführt; bei vollem Ausbau kommen drei weitere hinzu.

Zur Ausnutzung des gesamten Gefälles des San Joaquin soll dicht unterhalb des Werkes 3 ein weiteres Werk erbaut werden. Zu den fünf dann in Betrieb befindlichen Werken sollen noch zehn hinzukommen, die von andern Nebenflüssen des San Joaquin gespeist werden. Insgesamt sollen dann in den nächsten zehn Jahren 1 107 000 PS nutzbar gemacht werden. [M 37] Sd.

Eine neue Hochspannungs-Gleichstrommaschine,

die sich besonders für drahtlose Telegraphie (Röhrensender), und zwar für 12 000 bis 20 000 V Spannung bei vollkommener Stromwendung eignet, beschreibt S. R. Bergmann[1]). Eine über den Umfang gleichmäßig verteilte Ausgleichwicklung (nach Art der Dérimaschine) dient dazu, die Feldverzerrung infolge der Ankerrückwirkung vollständig zu beheben; zur Erzielung einer reinen Sinuswelle und geringeren Streuung ist die Erregerwicklung in die gleichen Nuten eingelegt, Abb. 1. Der Wicklungsschritt entspricht der halben Polteilung einer zweipoligen Maschine, wodurch die Windungslänge bedeutend verkürzt werden kann. In Abb. 1 sind die rückwärtigen Verbindungen der Schleifenwicklung nicht eingezeichnet. Die Ausgleich- und Feldwicklung liegt abwechselnd am Fuß und an der Spitze der Nutenzähne, ebenso wie die beiden Ankerwicklungen. Die Stromstärke in der Wendezahnbewicklung (z) ist behufs Verbesserung der Stromwendung in den kurzgeschlossenen Spulen etwas höher gehalten, als der Ankerrückwirkung entspricht.

Der Anker hat zwei unabhängige, mit je einem Kollektor verbundene Wicklungen, die miteinander und mit der Ausgleichwicklung in Reihe geschaltet sind. Durch ungleiche Dicke der beiden Bürstenpaare der unteren und oberen Wicklungshälfte und reichliche Bemessung der Verbindung in der neutralen Zone wird die Funkenbildung wirksam unterdrückt. Der Erregerstrom wird von einer besonderen Erregermaschine mit 32 V Spannung geliefert, damit die Induktionswirkung und die Gefahr eines Überschlagens bei plötzlichen Belastungsänderungen vermindert wird. Die Segmente der auf beiden Enden des Ankers sitzenden Kollektoren, Abb. 2, sind beiderseits durch einen Ringkörper isoliert, der aus abwechselnd angeordneten, unter hohem Druck (120 t) zusammengepreßten Baumwoll- und Glimmerscheiben besteht; die Isolation gegen die Traghülse bildet ein gefirnißtes Papierrohr. Diese Anordnung sichert einen langen Kriechweg, hohe Isolierfestigkeit und völliges Abdichten infolge der Elastizität der Baumwollzwischenlage.

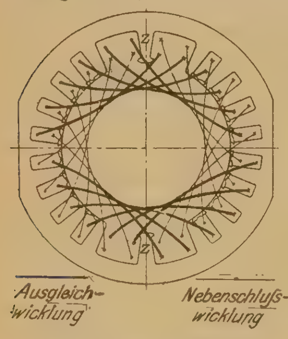
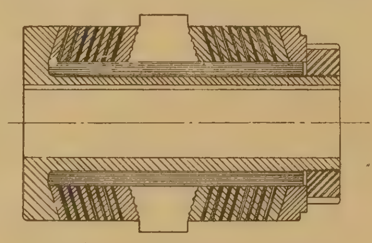


Abb. 1. Feld-Wicklung für die 12 000 V Gleichstrom.


Abb. 2. Kollektor für 12 000 V.

Die Maschine leistet 15 kW bei 12 000 V und 1750 Uml./min und wurde von der General Electric Co. erbaut. Die Spannung zwischen zwei Kollektorsegmenten beträgt 90 V gegen 25 V bei normalen Maschinen. [R 2093] Rb.

Kabelverbinder für 66000 V.

Für die dichtbevölkerte 12,5 km lange Strecke der Hochspannungsleitung von Cleveland nach Akron wurde an Stelle der Freileitung ein Hochspannungs-Einfachkabel von rd. 250 mm² Leiterquerschnitt verlegt. Von großer Wichtigkeit war dabei die Frage der geeignetsten Kabelverbindung. Nach einem Bericht von H. L. Wallau[2]) hat der nach Abb. 3 ausgebildete Kabelverbinder befriedigt. Der Kontakt wird durch eine Kupferhülse mit aufgepreßter Messingmuffe hergestellt, die unter die zum Teil hohlkegelig ausgesparte Kabelisolation geschoben wird. Die Isolation der Verbindungsstelle wurde nach folgendem Verfahren gesichert, wobei zu berücksichtigen war, daß die Verbinder in den ziemlich engen Mannlöchern unter Verwendung geeigneter Hilfswerkzeuge und Verrichtungen zusammengebaut werden mußten:

Über die Kabelenden nebst Isolation und Kontaktmuffe wurde eine Umhüllung aus getränktem Papierband mittels einer wenig Raum erfordernden Vorrichtung an Ort und Stelle im Mannloch aufgewickelt und die einzelnen Lagen mit einer Füllmasse aus Teer bedeckt. Darüber wurde ein gefirnißtes Papierrohr gelegt, das mittels Abstandringe gegen die Bandbewicklung und die äußere Hülse aus Messing in seiner Lage festgehalten wird. Hierauf wird eine zweiteilige Messinghülse von rd. 200 mm Dmr. über die Kabelenden geschoben; zur Vermeidung allzu hoher Beanspruchungen der Füllmasse wurden innerhalb der Messinghülse an den Verbindungsstellen des Bleimantels handgewickelte Dochtumhüllungen über die Kabelisolation gewickelt. Die Füllmasse wird auf 120 °C erwärmt, im flüssigen Zustand in den an den Enden und in der Mitte gelöteten Messingmantel eingegossen und, damit die Bildung von Luftblasen und Feuchtigkeit vermieden wird, durch eine zweite Öffnung zum Überfließen gebracht. Sodann wird die Füllmasse 18 Stunden unter hohem Druck gehalten. Hierauf wird ein kleiner Behälter mit nachgiebigen Wänden auf die eine Füllöffnung aufgesetzt, so daß sich die Füllmasse bis zur völligen Erstarrung verdichten kann.

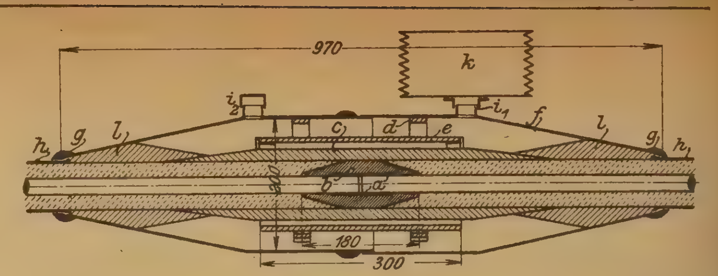


Abb. 3. Kabelmuffe für 66 000 V.

a Kupferhülse
b Messingmuffe
c maschinell gewickelte Papierbandhülle
d Asbestringe
e gefirnißtes Papierrohr
f zweiteilige Messinghülse
g Lötstelle
h Bleimantel des Kabels
i_1 u. i_2 Füll- und Entleeröffnung
k Eingußbehälter
l handgewickelte Dochthülle

Eingehende Versuche an Kabelverbindern mit und ohne weiche Füllmasse und Bandbewicklungen sowie mit ölgetränkten Rohren und harter Ausgußmasse zeigten die Überlegenheit des Verbinders nach Abb. 1. Die Prüfung erfolgte mit 100 kV Anfangsspannung und halbmonatlicher Steigerung bis zu 260 kV Durchschlagspannung bei normaler Frequenz. [R 29]

Erd- und Wasserbau.

Die O'Shaughnessy-Talsperre in Kalifornien.

Die schnelle Entwicklung von San Franzisko hatte die Stadt bereits vor dem Krieg veranlaßt, rechtzeitig auf eine großzügige Erweiterung ihrer Wasserversorgungsanlagen bedacht zu sein. Durch Verbindung mit der Ausnutzung von Wasserkräften sollte die Wirtschaftlichkeit in der Beschaffung einwandfreien Trinkwassers aus dem entfernten Gebiet der Sierra Nevada erreicht werden. Die Bauarbeiten der 250 km langen Strecke wurden 1914 an zwei Punkten in Angriff genommen. Als größtes Bauwerk der ganzen Anlage ist die eine der beiden Talsperren, die Hetch Hetchy- oder O'Shaughnessy-Talsperre, wie sie ihrem Erbauer zu Ehren getauft worden ist, im Frühjahr 1923 fertiggestellt und von der Stadt abgenommen worden. Über den Bauvorgang selbst, der von deutschen Ausführungen ähnlicher Bauwerke z. T. abweicht, entnehmen wir einem Bericht von Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. F. W. Schmidt[3]) die folgenden Einzelheiten:

Während der Bauzeit wurde der Tuolumne-Fluß durch einen Umlaufstollen von $7 \times 7{,}6$ m² Querschnitt abgeleitet. Der Leitdamm, der das Flußtal absperrte, war gezimmert und gegen Unterspülung durch eine Spundwand gesichert. Zur Trockenhaltung der Baugrube wurde unterhalb ein Rückstaudamm aus Beton hochgeführt. Sobald die Arbeiten an der Staumauer selbst genügend fortgeschritten waren, ließ man den Leitdamm verfallen und führte den Fluß durch eine Öffnung in der Mauer ab, die erst zum Schluß nach der Oberstromseite hin verschlossen wurde.

Die Seitenwände wurden durch Sprengung ausgehoben. Das Arbeitsgut wurde mit Löffelbaggern, im engeren Teil der Baugrube mit Derrickkranen in Förderwagen geladen und zwecks Wiederverwendung beim Betonieren fortgeschafft. Zur Betonbereitung dienten zwei Mischmaschinen mit je 1,5 m³ Fassung. Sie wurden durch je einen 50 PS-Motor angetrieben und lieferten durchschnittlich 76 m³/h Gußbeton. Die Zusammensetzung der Mischung (1 : 3 : 6 oder 1 : 2,5 : 5) wurde durch farbige Lichter an Mischmaschine und Gießturm laufend angezeigt. Schwere Steine mit einem Gewicht bis zu 5 t, zur Ersparung von Beton bis zu 10 vH der Gesamtmenge in die frische Betonmasse eingesetzt, dienten gleichzeitig zur Erzielung einer größeren Scherfestigkeit in den Arbeitsfugen. Auf die Festigkeit wurde auch durch wagrechte Absätze in der Schicht und Aussparungen senkrecht zur Flußrichtung, als eine Art mechanischer Verzahnung der einzelnen Schichten, Rücksicht genommen. Fünf Trennfugen mit Kupferblech-Abschluß sollen ferner zur Verhütung von Wärmerissen dienen.

Die Mischmaschinen lieferten den gußfertigen Beton in einen Aufzugbehälter, der die Masse in einen Trichter am Gießturm entleerte. Der Trichter, an den sich die Gießrinne anschloß, konnte seine Höhenlage dem Baufortschritt entsprechend verändern. Die Gießrinnen waren auf gut ausgewogenen Fachwerkträgern gelagert und an starken Drahtseilen aufgehängt. Diese Unterstützungsart gewährleistete die nötige Beweglichkeit beim Verlegen. Besondere Vorsicht erforderte das Einsetzen der sechs großen Kegelventile, Bauart Johnson, von rd. 900 und 1500 mm Dmr.[4]). Um eine Verschiebung der schweren Gußstücke beim Setzen des Betons zu vermeiden, hielt man den Aufstellungsraum zunächst frei und goß ihn nach Absteifung der eingesetzten Ventilgehäuse nachträglich aus. Zur Beförderung der Ventile und der oberhalb von

[1]) Vergl. Journ. Amer. Inst. El. Eng., Bd. 42 Nr. 10.
[2]) Elektrical World Bd. 82 (1923) S. 1058.
[3]) Zentralblatt der Bauverwaltung Bd. 43 vom 26. September 1923.
[4]) s. Z. Bd. 65 (1921) S. 44.

ihnen eingebauten Schieber mußte eine besondere Seilbahn von 15 t Tragfähigkeit und 285 m Spannweite gebaut werden, die auf Türmen gelagert wurde. Mittels der Seilbahn wurden auch das Arbeitsgerät und die Baumaschinen herangeschafft.

Bei dieser Sperrmauer ist von der auch in Nordamerika üblichen Intzeschen Bauweise der im Grundriß stark gekrümmten Staumauern mit ihren geringeren Mauerstärken abgewichen worden. Man hat dies aus dem Grunde getan, um bei steigendem Wasser- und Kraftbedarf die Mauer erhöhen zu können. Diesem Plan ist auch bei den Abmessungen der Gründung Rechnung getragen worden. Inwieweit es möglich sein wird, später die beiden Teile zu einem Ganzen zusammenzufassen und besonders die Querkräfte einwandfrei von dem alten auf den neuen Teil zu übertragen, muß die Zukunft lehren. [M 2022] K. Schulz.

Elektrische Bahnen.

Elektrische Lokomotiven für hohe Geschwindigkeiten und Leistungen.

Zwei schwere elektrische Lokomotiven der General Electric Co., von denen eine von 108 t Gewicht für Personenverkehr auf der Paris-Orléansbahn von normal 100 km/h Höchstgeschwindigkeit, die andre von 135 t Gewicht für schwere Güterzüge auf den mexikanischen Bahnen bestimmt ist, haben Ende 1923 auf der Versuchstrecke der Eriebahn ihre Probefahrten abgelegt. Hierbei erreichte die 2 C + C 2-Lokomotive der Orléansbahn 165 km/h Höchstgeschwindigkeit. Diese Doppellokomotive wird mit Gleichstrom von 1500 V gespeist. Die sechs Treibachsen werden von je einem unmittelbar gekuppelten Motor von 395 PS Stundenleistung angetrieben; je zwei Motoren sind ständig in Reihe geschaltet. Die Geschwindigkeit wird mittels 23 Widerstandstufen und 8 Gruppenverbindungen für Reihenparallelschaltung durch eine elektrisch betätigte Druckluftsteuerung geregelt; zum Bremsen dient eine Drucklufteinrichtung nach der Bauart der Französischen Westinghouse-Gesellschaft.

Die Kennzahlen dieser Lokomotive zeigt folgende Übersicht:

Stundenleistung	2370 PS
Dauerleistung	2130 „
Zugkraft bei Einstundenleistung, 1350 V und 96,5 km/h	6630 kg
Zugkraft bei Dauerleistung, 1350 V und 101 km/h	5700 „
Reibungsgewicht	72,6 t
Dienstgewicht	108,4 „
Gewicht des mechanischen Teiles	62 „
Gewicht des elektrischen Teiles und der Bremsausrüstung	46,4 „
Länge über die Puffer	19,02 m
Größte geführte Länge	2,85 „
Höhe von S.-O. bis zu den heruntergeklappten Stromabnehmern	3,84 „
Treibrad-Dmr.	1200 mm
Laufrad-Dmr.	915 „

Die B + B + B-Güterzuglokomotive der mexikanischen Staatsbahn für Gleichstrombetrieb mit 3000 V hat sechs Motoren für je 1500 V mit künstlicher Kühlung und ständiger Reihenparallelschaltung; die Motoren treiben die zugehörige Achse über beiderseitige Vorgelege von 18 : 90 Übersetzung. Die Lokomotive ist für Rückstrombremsung im Gefäll eingerichtet und zu diesem Zwecke mit einer besonderen Erregermaschine versehen; diese sitzt auf der Welle eines Hilfsmaschinensatzes, der den Strom für Lüftung, Druckluftbremse und Steuerung liefert und die Beleuchtung, Heizung und eine Hilfsbatterie speist.

Die Lokomotive arbeitet bei reiner Reihenparallelschaltung mit 31 Anlauf- und 9 Geschwindigkeitsstufen bei Geschwindigkeiten von 9 bis 35 km/h. Die Rückstrombremse mit Fremderregung weist 15 Geschwindigkeitsstufen im Gefäll auf. Die beiden Scheren-Stromabnehmer werden ebenfalls mit Druckluft betrieben. Gegenwärtig wird eine 50 km lange Strecke mit 1200 m Höhenunterschied für elektrischen Betrieb eingerichtet. Hier sollen Züge von 630 t Gewicht durch je zwei Lokomotiven befördert werden. Personenzüge sollen von einer Lokomotive mit 32 km/h Höchstgeschwindigkeit gezogen werden.

Einige Hauptmaße dieser Lokomotive sind nachstehend angegeben:

Stundenleistung	2 700 PS
Dauerleistung	2 500 „
Zugkraft bei Stundenleistung (32 km/h)	24 500 kg
Zugkraft bei Dauerleistung (32,8 km/h)	20 750 „
Reibungs- und Dienstgewicht	138 t
Gewicht der elektrischen Ausrüstung	62 „
Länge über die Puffer	15,8 m
Größte geführte Länge	2,8 „
Höhe von S.-O. bis zu den Stromabnehmern	4,6 „
Treibrad-Dmr.	1170 mm

(Electric Railway Journal Bd. 62 (1923) S. 968) [M 35] Rb.

„Zahle-beim-Ausgang"-Straßenbahnwagen.

Bei der Brooklyn City Railroad sind für den elektrischen Straßenbahnbetrieb 200 neue vierachsige Triebwagen mit seitlichem Einstieg am vorderen Ende und Mittelausgang eingestellt worden, bei denen das Fahrgeld in einer Sammelbüchse mit selbstschreibender Zählvorrichtung beim Aussteigen entrichtet wird; die Wagen sind durch einen besonderen Anstrich für die Fahrgäste erkenntlich gemacht und für Einmann- wie auch für Zweimannbetrieb geeignet[1]). Das Wageninnere enthält 12 Quersitz- und 4 Längssitzbänke sowie 4 Klappbänke, die jeweilig an der dem Ein- und Ausgang gegenüberliegenden Wagenseite angeordnet sind. Die Wagen wiegen 17 t und sind mit vier Motoren von je 35 PS mit auswechselbarem Getriebe ausgerüstet. Zum Bremsen und Verriegeln der Türen dienen elektrisch gesteuerte Druckluftventile. Die Öffnung des Ventils wird entsprechend der Wagenbelastung verändert. Dies geschieht mittels eines Messerkontaktes, der durch einen Daumenantrieb mit dem Untergestell und der Ventilfeder beim Halten des Wagens in Berührung gelangt. Die Mitteltür wird vom Führerstand aus gesteuert, während die vordere Eingangstür mit der Handbremse in der Weise zwangläufig verriegelt ist, daß der Wagen erst bei geschlossener Tür abfahren kann. Die Fahrgeldbüchse ist beim Einmannbetrieb vorn am Führerstand, beim Zweimannbetrieb jedoch an der Mitteltür angeordnet. Der Wagen ist elektrisch beheizt und mit künstlicher Lüftung versehen. Bemerkenswert ist, daß die Seitenrahmen dieses Wagens aus einer Stahllegierung mit 0,25 vH Kupferzusatz bestehen, die infolge ihrer Rostbeständigkeit die Lebensdauer des Wagens in dem salzhaltigen Seeklima bedeutend erhöht. (Electric Railway Bd. 62 [1923] S. 739) [M 2125] Rb.

Schiffbau.

Schubmesser für Schiffswellen.

In der Shipping, Engineering and Machinery Exhibition in Olympia, London, ist nach Angabe von „Engineering" Bd. 116 (1923) S. 296 ein Schubmesser ausgestellt, Abb. 4 bis 6, der mit einem Michell-Lager verbunden ist. Die Lagerteile *a* in Abb. 1 werden durch Schuhe *b* gehalten. In Abb. 4 ist nur der Schuh wiedergegeben, der den Schub bei Vorwärtsfahrt aufnimmt. Die Schuhe, die bei gewöhnlichen Michell-

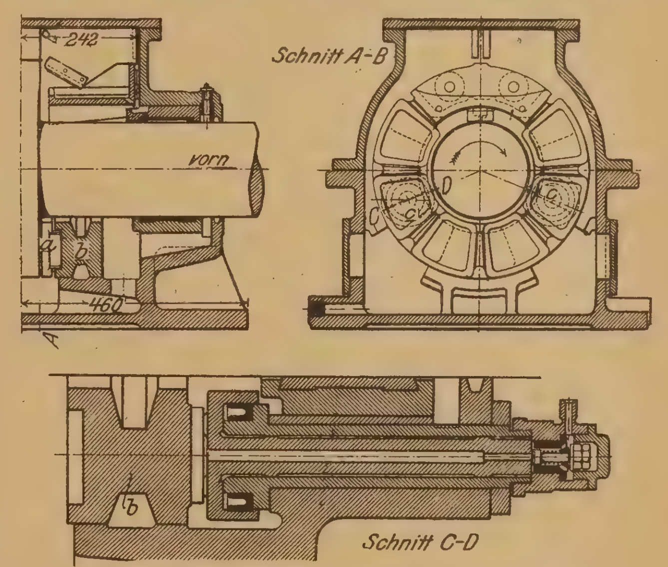


Abb. 4 bis 6. Michell-Lager mit Schubmesser.

Lagern fest gelagert sind, sind in diesem Falle verschiebbar angeordnet. Sie lehnen sich gegen die in Abb. 2 durch gestrichelte Linien angedeuteten Pumpen *c*. Einen Schnitt durch diese Pumpen zeigt Abb. 3. Der hydraulische Druck, der eine lineare Funktion des Schraubenschubes ist, wird bei Turbinenschiffen durch ein Manometer, bei Schiffen mit Kolbenmaschinen wegen des ungleichförmigen Drehmomentes, wodurch auch der Schub ungleichförmig wird, durch einen Indikator angegeben. [R 1961] Dr. Sch.

Schiffsschott aus Glas.

Auf dem Fahrgastdampfer „Belgenland" der Red Star-Linie hat man aus ästhetischen Gründen zwischen dem Speisesaal erster Klasse und dem Palmenraum, der mit Rücksicht auf die heutige Tanzsucht zugleich als Ballraum benutzt wird, ein feuerfestes Glasschott eingebaut, um den gesetzlichen Vorschriften zu genügen. Vor dem Einbau hat man umfangreiche Versuche durchgeführt, die ergeben haben, daß ein besonderes kieselsäurehaltiges Glas dem Feuer gut zwei Stunden widersteht. Die einzelnen Glasstücke sind nur wenige Quadratzoll groß und in kleinen Rahmen aus gehärtetem Messing eingefalzt. [M 42]

[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 1034.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Die Dreherei und ihre Werkzeuge. Von Betriebsdirektor Willy Hippler. I. Teil. 3. umgearbeitete und erweitere Auflage. Berlin 1923, Julius Springer. 259 Seiten mit 136 Abb. und 2 Taf. Preis geb. Gm. 13,50.

Das bekannte Hipplersche Buch wurde in seiner Neuauflage in zwei Bände geteilt, von denen nunmehr der erste erschienen ist. Er enthält die wirtschaftlichen Grundlagen der Zerspanung, die wirtschaftliche Ausnutzung der Drehbank und die Untersuchung des Aufbaues der Drehbank. Eingehende Untersuchungen werden über Schnittdruck, Arbeitswärme, Schnittgeschwindigkeiten, Spanquerschnitt usw. angestellt; bemerkenswert ist die Behandlung der Frage des wirtschaftlichen Verwendungsbereiches der Werkzeugstahlsorten, wie auch die Erörterung der für die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Drehbank in Betracht kommenden Faktoren. Gegenüber den entsprechenden Kapiteln der 2. Auflage ist nicht nur eine fast völlige Neubearbeitung, sondern auch eine erhebliche Erweiterung und Vertiefung des Stoffes festzustellen. Hippler sagt in seinem Vorwort, daß die Erforschung der Grundlagen noch in ihren Anfängen steckt und daß die meisten und größten Aufgaben noch zu lösen seien. Das Problem der methodischen Zerspanung zu beleuchten bemüht sich Hippler mit eisernem Fleiß und klarem Blick, und vor allem mit jener Gründlichkeit, die wissenschaftliche Arbeit wirklichen Wert verleiht. Die bisher veröffentlichten Arbeiten werden kritisch untersucht, mit scharfer Logik wird das Richtige gesucht, werden Fehlschlüsse nachgewiesen. Dabei ist das Buch von der Erkenntnis durchdrungen, daß die bisherigen Versuchsergebnisse keinen Abschluß bedeuten, sondern nur als eine Stufe zum Weiterschreiten aufzufassen sind. Um so mehr wäre es zu wünschen, daß das bereits Geklärte in alle Werkstätten eindringen und an die Stelle der vielen schiefen Ansichten treten möge, die ein Hemmschuh der Wirtschaftlichkeit unserer Werkstätten sind. Wer sich nur durch schnelles Nachschlagen einer bestimmten Stelle Rat holen will, also ein Rezept für einen gerade vorliegenden Fall sucht, wird kaum auf seine Kosten kommen. Das Buch verlangt ernstes Studium, geistige Mitarbeit, kommt aber dem Leser durch die lebendige, Interesse erweckende Art der Darstellung entgegen, die angenehm von der oft nur allzu trockenen Schreibweise ähnlicher Bücher absticht. Eine wahre Fundgrube sind die ausgezeichneten Quellenangaben, die durch die Besprechungen an den einzelnen Stellen an besonderem Wert gewinnen.

Wie in den beiden ersten Auflagen werden im einleitenden allgemeinen Teile Angaben über Stähle, Härten und Anlassen gebracht, die eigentlich in den Teil gehören, der vom Werkzeug und seiner Herstellung handelt. Mag der Verfasser auch für diese Zerstückelung besondere Gründe gehabt haben, so muß doch bedacht werden, daß der Leser diese selbst bei längerem Nachdenken nicht erkennen kann. Eine eingehende Würdigung des ganzen Werkes wird man sich bis zum Erscheinen des zweiten Bandes vorbehalten müssen, der hoffentlich nicht allzu lange auf sich warten lassen wird. Ausstattung, Druck und Abbildungen entsprechen wieder ganz den Büchern des Springerschen Verlages aus der Vorkriegszeit. [B 2134] Reindl.

Der Radio-Amateur „Broadcasting". Von Dr. E. Nesper. Berlin 1923, Julius Springer. 368 S. mit 377 Abb. und 2 Kunstdruckblättern. Preis geb. Gm. 11.

Zum ersten Mal erscheint in Deutschland auf dem Gebiete der Radiotechnik ein größeres Werk von dem bekannten Verfechter des Radiowesens in Deutschland Dr. Eugen Nesper. „Broadcasting" ist die Nachrichtenverbreitung im weitesten Sinn. Und mit Recht! Nicht nur einem kleinen Kreise von Eingeweihten, wie bei der Morsetelegraphie, sondern allen gemeinsam soll der Radioapparat zu Nutzen sein. In klarer leicht faßlicher Form führt uns der Verfasser im Kapitel 1 die verschiedensten Anwendungen der Radiotechnik vor Augen: Ersatz von Büchern und Zeitungen, größte Verbreitung von Reden wissenschaftlicher und politischer Art, Bekanntmachung und Verbreitung der Börsenkurse. Ganz besonders aber eignet sich der Radioapparat zur Musikübertragung von Opern und Konzerten. Kapitel 2 behandelt in ausführlicher Form den ganzen Mechanismus der Radiotelegraphie und -telephonie, Kapitel 3 bietet einen Auszug aus der Theorie derselben und bringt wichtige Formeln, Tabellen und Diagramme. In den nun folgenden Abschnitten 4 bis 8 des Buches, die den Hauptteil desselben einnehmen, werden alle Einzelheiten eines Radioapparates in ausführlichster Form behandelt: Radiosender, Radioempfänger, Empfangschaltungen, Antenne, Verstärker und Lautsprecher. Abschnitt 9 bespricht die normalen Empfänger-Einzelteile der heimischen und ausländischen Radioindustrie. Kapitel 10 behandelt einen Universalempfangsapparat und leitet den Amateur zum eigenen Zusammenbau eines Empfängers an, während Kapitel 11 eingehend zeigt, wie der amerikanische Radioamateur seinen Empfänger selbst baut. Die anschließenden Abschnitte 12 bis 14 erläutern die Stromquellen, Ladevorrichtungen, Prüf- und Meßinstrumente und Lehrapparaturen, und schließlich bringt Kapitel 15 noch ein Verzeichnis internationaler Radioamateur-Literatur. — Druck und Ausführung entsprechen ganz den Gepflogenheiten des Springerschen Verlages. Alles in allem kann dieses Buch jedem, der sich auf dem Gebiete des Radiowesens betätigen will, nur warm empfohlen werden. [B 68]

Der praktische Maschinenbauer. Von Dipl.-Ing. H. Winkel. 2. Bd., 2. Tl. Bearb. von W. Bender, H. Frey. R. Gotthold u. H. Guttwein. Berlin 1923, Julius Springer. 411 S. mit 887 Abb. Preis Gm. 8.

Die Ermittlung der Kegelrad-Abmessungen. Von Obering. K. Golliasch. Berlin 1923, Julius Springer. 61 S. mit 96 Abb. Preis geb. Gm. 15.

Die Hauptabmessungen für Kegelräder verschiedener Bauart je nach der Lage der Wellen gegeneinander, nach der Gestaltung der Zähne und nach der Art ihrer Herstellung sind in Tabellenform zusammengestellt, so daß man sie mit einem geringen Zeitaufwand bestimmen kann.

Bibliothek d. ges. Technik. Bd. 298: **Das Fräserbuch.** Die Teilapparate, das Fräsen von Spiralen und anderes. Von Fr. Hofmann. Leipzig 1923, Jänecke. 36 S. Preis Gm. 0,80.

Industriebetriebslehre. Die wirtschaftlich-technische Organisation des Industriebetriebes mit bes. Berücksichtigung der Maschinenindustrie. Von Dr.-Ing. E. Heidebroek. Berlin 1923, Julius Springer. 285 S. mit 91 Abb. u. 3 Tafeln. Preis Gm. 17,50.

Das Energiewirtschaftsproblem in Bayern. Von Dr.-Ing. O. Streck. Berlin 1923, Julius Springer. 108 S. mit 23 Abb. Preis Gm. 3,60, geb. 4,40.

Wissen und Wirken. Herausgeber Prof. A. Kistner und Prof. Dr. E. Ungerer. Bd. 10: **Wasserkraft und Dampfkraft im wirtschaftlichen Wettbewerb.** Von Dr.-Ing. W. G. Waffenschmidt. Karlsruhe i. B. 1923, G. Braun G. m. b. H. 67 S. mit 4 Abb. Preis Gm. 1.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 5. Teil: **Der Eisenbahnbau.** 2. Aufl. 3. Bd. 1. u. 2. Kapitel. Leipzig 1923, Engelmann. 464 S. mit 379 Abb. u. 5 Taf. Preis Gm. 8.

Handbibliothek für Bauingenieure. Herausgegeben von R. Otzen. **Unterbau.** Von W. Hoyer. Berlin 1923, Julius Springer. 187 S. mit 162 Abb. Preis Gm. 8.

Erd- und Felsarbeiten — Bahnkörper und Bahnanlage — Kreuzung von Eisenbahn und Wasserlauf — Tunnelbau.

Eisenbahngüterverkehr und Verkehr auf den Wasserstraßen in Groß-Berlin 1914 bis 1920. Herausgegeben vom Statistischen Amt der Stadt Berlin (Nachtragsheft zu den „Statistischen Monatsberichten Groß-Berlin").

Wasserstraßen-Jahrbuch 1923. Herausgeber: Dr. R. Zeitler u. Dr. Ott. München 1923, Pflaum. 295 S. mit 54 Abb. Preis Gm. 6.

Grundsätze für die Zulassung und Verwendung besonderer Baustoffe, Baukonstruktionen u. dergl. Handausgabe. Von Oberbaukommissar M. Bulnheim. Dresden 1923, C. Heinrich. Preis Gz. 1,20.

Organisation und Betriebführung der Betontiefbaustellen. Von Dr.-Ing. A. Agatz. Berlin 1923, Julius Springer. 88 S. mit 29 Abb. Preis Gm. 3,60.

Kalktaschenbuch 1924. Verein deutscher Kalkwerke.

Hermann Recknagels Kalender für Gesundheits-Techniker. Herausgegb. von O. Ginsberg. 28. Jg. (1924). München und Berlin 1924, R. Oldenbourg. 336 S. mit 69 Abb. u. 132 Tafeln. Preis Gm. 4.

Die Grundlagen der Nomographie. Von Ing. B. M. Konorski. Berlin 1923, Julius Springer. 86 S. mit 72 Abb. Preis geh. Gm. 3.

Die Kontrolle, Revisionstechnik und Statistik in kaufm. Unternehmungen. 3. Aufl. Von Prof. Fr. Leitner. Frankfurt a. M. 1923, J. D. Sauerländers Verlag. 324 S. mit 5 Abb. und 4 Tafeln. Preis brosch. Gz. 5,50, geb. 6,60.

ANGELEGENHEITEN DES VEREINES.

Die dreiundsechzigste Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure

findet am **Sonntag, den 1. und Montag, den 2. Juni 1924** in **Hannover** statt.

Der Hauptversammlung geht eine Versammlung des Vorstandsrates am 31. Mai in Hannover voran.

Anträge, die in diesen Versammlungen zur Verhandlung kommen sollen, sind gemäß §§ 35, 37 und 46 der Satzung spätestens bis zum 8. März d. J. schriftlich bei der Geschäftsstelle einzureichen.

Die Tagesordnung wird rechtzeitig veröffentlicht werden.

Dr. G. Klingenberg,
Vorsitzender des Vereines deutscher Ingenieure.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 7 SONNABEND, 16. FEBRUAR 1924 BD. 68

INHALT

Die technischen und wirtschaftlichen Aussichten von Höchstdruckdampf.[1]

Von Friedrich Münzinger, Berlin.

Vorgetragen auf der Hochdruckdampf-Tagung des Vereines deutscher Ingenieure am 18. Januar 1924.

Einleitung — Berechnung der Heizflächen von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser — Erzeugung von Höchstdruckdampf — Verhalten von Höchstdruckkesseln im Betrieb — Abhängigkeit des Kesselspeisewassers vom Dampfdruck — Wirtschaftliche Aussichten von Höchstdruckdampf — Neue wärmewirtschaftliche Probleme.

Obgleich seit dem denkwürdigen Vortrag von Direktor Hartmann[2]) bald drei Jahre vergangen sind, hat sich Höchstdruckdampf (worunter Dampf von mehr als 25 bis 30 at Spannung verstanden werden möge) bisher nur in sehr bescheidenem und jedenfalls nicht in dem Ausmaße einzuführen vermocht, wie unter dem Eindruck jenes Vortrages wohl viele hoffen mochten. Die bisherige Entwicklung hat den sehr vereinzelten Stimmen recht gegeben, die jenes Mal die Kesselfrage als noch nicht genügend geklärt und noch viele harte Arbeit für die Schaffung wirtschaftlicher und betriebsbrauchbarer Höchstdruckkessel für erforderlich hielten[3]).

Trotzdem wäre es verkehrt, die außerordentliche Bedeutung der Arbeiten von Wilhelm Schmidt und den großen Nutzen des Hartmannschen Vortrages für die Einführung hoher Drücke zu verkennen. Haben sie doch in erster Linie die ganze Frage aus dem engen Studierzimmer heraus in das helle Licht des technischen und wirtschaftlichen Wettbewerbs gerückt und zahlreichen Fachgenossen Anregung und Mut zur Mitarbeit auf diesem schwierigen, kaum erforschten Gebiete gegeben.

Daß bisher größere Anlagen nur für Drücke von 25 bis 35 at zur Ausführung oder zum Bau gelangten, lag wohl außer an der Geldknappheit und dem Wagnis, das der Sprung auf die doppelte bis vierfache Dampfspannung bedeutet, besonders an folgenden Umständen:

1) Unsicherheit, ob die bisherigen Festigkeitsberechnungen ausreichen;

2) Erkenntnis, daß die üblichen Baustoffe nur mit Vorbehalt verwendet werden dürfen;

3) völlige Unklarheit, welche Kesselbauart sich voraussichtlich als die geeignetste erweisen wird;

4) der Umstand, daß bisher kein einigermaßen verläßlicher Anhalt, geschweige denn eine genaue Untersuchung darüber besteht, wie groß der wirtschaftliche Vorteil von Höchstdruckdampf auf den verschiedensten Anwendungsgebieten ist.

Punkt 4 dürfte an der Zurückhaltung der Verbraucher von Kraft und Wärme gegenüber der Einführung von Höchstdruckdampf wahrscheinlich die Hauptschuld tragen.

Nahezu alle bisherigen Abhandlungen befassen sich nur mit der wärmetechnischen Seite. I n d u s t r i e l l e o d e r L e i t e r g r o ß e r K r a f t w e r k e w o l l e n a b e r w i s s e n , w i e v i e l s i e a l l e s i n a l l e m b e i H ö c h s t d r u c k b e t r i e b s p a r e n k ö n n e n. Erst die Kenntnis der finanziellen Aussichten und der Betriebstüchtigkeit von Höchstdruckanlagen ermöglicht ihnen, zu beurteilen, ob sich das Wagnis der Einführung sehr hoher Dampfspannungen lohnt. Die rein wärmetechnischen Zusammenhänge sind für sie nur ein Teil des Gesamtproblems, und oft nicht einmal der wichtigste.

Die vorliegende Arbeit untersucht daher die Anwendung von Höchstdruckdampf nach der konstruktiven und betriebstechnischen sowie nach der wirtschaftlichen Seite und entwickelt einige Gesichtspunkte für Bau und Bemessung wirtschaftlicher, preiswerter und betriebsicherer Dampfkessel für sehr hohe Drücke.

Den weiteren Ausführungen möge aber der Vorbehalt vorausgeschickt werden, daß ihre Voraussetzungen und Folgerungen nicht als apokryph angesehen werden wollen. Hauptaufgabe dieser Arbeit soll vielmehr sein, die wirtschaftlichen und technischen Aussichten in großen Zügen zu zeigen und die Richtung abzustecken, in welcher nach meiner Ansicht weitergearbeitet werden sollte. Ich hatte bei meinen Vorarbeiten den Eindruck gewonnen, daß es sehr zweckmäßig wäre, Kesselhersteller, Blechhersteller und Betriebsleute in innige Berührung miteinander zu bringen und möglichst frühzeitig zu verhindern, daß sich „Erfinder und Projektemacher" dieses Neulandes zum Schaden der gesunden Weiterentwicklung bemächtigen. Von Anfang an sollte verhindert werden, daß wieder, wie bei Einführung der Steilrohrkessel, eine Unzahl überflüssiger „Systeme" auftaucht, die nur bewirken, daß man ihnen die Unzulänglichkeit und mangelnde Sachkenntnis ihrer Erfinder zuschreibt und daß gegenüber ihren angeblichen Vorzügen die entscheidende Bedeutung sorgsamer Werkstättenausführung und gewissenhafter technischer Kleinarbeit übersehen wird.

Es sei daher schon hier hervorgehoben, daß bei Höchstdruckdampfkesseln die Wahl geeigneter Baustoffe und ihre sorgsame Verarbeitung weit wichtiger als bei Kesseln bis 20 at ist.

Aus diesen Erwägungen heraus habe ich im Herbst 1923 dem Verein deutscher Ingenieure vorgeschlagen, den ganzen Fragenkomplex zum Gegenstand einer besonderen Tagung zu machen, und das Programm für die heutige Zusammenkunft ausgearbeitet. Eine solche Tagung schien mir einen schnellen Fortschritt zu versprechen, weil sie die für die Mitarbeit in Betracht kommenden Kreise in wenigen Stunden über die zahlreichen zu beachtenden Gesichtspunkte und Zusammenhänge unterrichtet und den verschiedene Zweige der Technik vertretenden Fachleuten Gelegenheit gibt, vor sachverständigen Hörern Fragen zu klären, die sonst günstigstenfalls nur durch einen zeitraubenden und äußerst umständlichen Briefwechsel erledigt werden könnten.

Während das Verhalten von Wasserdampf bei den heute üblichen Drücken bis hinauf zu hoher Überhitzung genau bekannt ist, so daß in diesem Gebiete zuverlässige wärmetechnische Berechnungen möglich sind, herrscht von etwa 30 at an noch große Unsicherheit. In Deutschland werden besonders die Tafeln von Stodola und von Schüle und neuerdings die von Knoblauch.

[1]) Die Abhandlung erscheint in sehr stark erweitertem Umfang unter dem Titel „Höchstdruckdampf" als Buch bei Julius Springer, Berlin.

[2]) Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure 1921. Z. Bd. 65 (1921) S. 663 u. f.

[3]) Z. Bd. 65 (1921) S. 993.

Raisch und Hausen stammenden Werte benutzt, die zum Teil erheblich voneinander abweichen.

Der Wärmeinhalt von 1 kg Dampf von 100 at und 400 °C beträgt nach Stodola rd. 740 kcal/kg, nach Schüle rd. 761 kcal/kg. Bei 35 °C Speisewassertemperatur weichen somit die Angaben über die Erzeugungswärme um rd. 3 vH voneinander ab. Je nach dem Werte, mit dem gerechnet wird, ergibt sich also bei Verwendung von Dampf von 400 °C und 100 at ein bis um 3 vH wechselnder Brennstoffverbrauch. Der Einfluß der verschiedenen Wärmeinhalte wird aber zum Teil wieder dadurch ausgeglichen, daß auch die adiabatischen Wärmegefälle zwischen zwei Dampfzuständen voneinander abweichen, und zwar in einem Sinne, der den Einfluß der Unterschiede des Wärmeinhaltes großenteils aufhebt.

Soweit nichts anderes angegeben ist, wurden ausschließlich die Werte von Stodola benutzt. Wenngleich nach den vorausgegangenen Ausführungen keine wesentliche Verfälschung des Verhaltens von Höchstdruckdampf durch die Unsicherheit der Ausgangswerte zu erwarten ist, tut man doch gut, sich bei allen folgenden Betrachtungen vor Augen zu halten, daß sie vielfach auf extrapolierten und nicht auf experimentell ermittelten Grundlagen beruhen.

Berechnung der Heizflächen von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser.

In Abb. 1 und 2 sind für Drücke bis zu 100 at abs. die Wärmeinhalte des Speisewassers (vor und hinter dem Ekonomiser), des gesättigten und des auf 400 °C überhitzten Dampfes nach Stodola und nach Schüle eingetragen, ferner wieviel von der insgesamt aufgenommenen Wärme im Kessel, im Überhitzer und im Ekonomiser übertragen werden muß, unter der Voraussetzung, daß das Speisewasser im Ekonomiser von 35 °C

a) auf Siedetemperatur,

b) auf 80°C unter dem Siedepunkt erhitzt wird.

Die eingeklammerten Zahlen im oberen Teil von Abb. 1 und 2 geben die nach Schüle, die darüberstehenden die nach Stodola ermittelten Verhältnisanteile an der Wärmeübertragung an. Insbesondere die vom Überhitzer aufgenommene Wärme fällt recht verschieden aus, je nachdem, mit welchen Werten gerechnet wird.

Bei Drücken von 10 bis 20 at wird der Einfluß des Kesseldruckes auf die Bemessung der verschiedenen Teile der Heizfläche meist nicht berücksichtigt, obgleich jede von ihnen verschiedene Wärmemengen aufnimmt. Abb. 1 und 2 zeigen, daß bei hohen Drücken der Ekonomiser immer mehr, der Kessel immer weniger Wärme aufzunehmen hat; Ähnliches gilt, wenn auch nicht in so hohem Maße, vom Überhitzer. Die Unterschiede sind so beträchtlich, daß sie bei der Heizflächenbemessung nicht mehr außer acht gelassen werden dürfen. Ferner ist zu beachten, daß mit zunehmendem Kesseldruck unter sonst gleichen Verhältnissen das Temperaturgefälle zwischen Rauchgasen und Heizflächen abnimmt (mit Ausnahme des Ekonomisers).

Da der Wärmeinhalt von 1 kg Dampf von 400 °C Temperatur, die für alle folgenden Berechnungen als Frischdampftemperatur gewählt wurde, mit zunehmendem Dampfdruck fällt, ist es nicht zweckmäßig, beim Vergleich zweier Kessel für stark verschiedene Drücke von derselben Kesselheizfläche oder derselben stündlichen Dampferzeugung auszugehen. Man bekommt einen richtigeren Vergleichsmaßstab, wenn man dieselbe Rostfläche zugrunde legt und zunächst berechnet, wie groß die Heizflächen von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser für verschiedene Drücke ausfallen, wenn Fläche und Belastung des Rostes und Gesamtwirkungsgrad von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser stets gleich bleiben. Diese Berechnungsart ist auch deshalb vorzuziehen, weil sich bei verschiedenem Druck die Verhältnisse von Kesselheizfläche, Überhitzerheizfläche, Ekonomiserheizfläche, und damit der Preis eines vollständigen Kesselsatzes, ändern. Geht man aber bei allen Dampfdrücken von derselben Rostfläche — und Leistung — und demselben Wirkungsgrad aus, so sind alle diese Einflüsse berücksichtigt. Zur Zeit werden die Heizflächen von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser mehr durch Probieren als durch Rechnung festgelegt; auf Grund der Erfahrungen an ausgeführten Anlagen berechnet man überschlägig, wie groß die Heizflächen in einem anderen Fall gemacht werden müssen.

Das Fehlen zuverlässiger Grundlagen wird beim Bau von Höchstdruckkesseln noch recht stören, weshalb auch hier auf den außerordentlichen praktischen Wert entsprechender Untersuchungen hingewiesen werden möge.

Es handelte sich nun darum, zu ermitteln, wie sich Größe und Verteilung der Heizflächen von Kessel, Überhitzer und Ekonomiser bei höheren Drücken ändern. Als Ausgangspunkt dien-

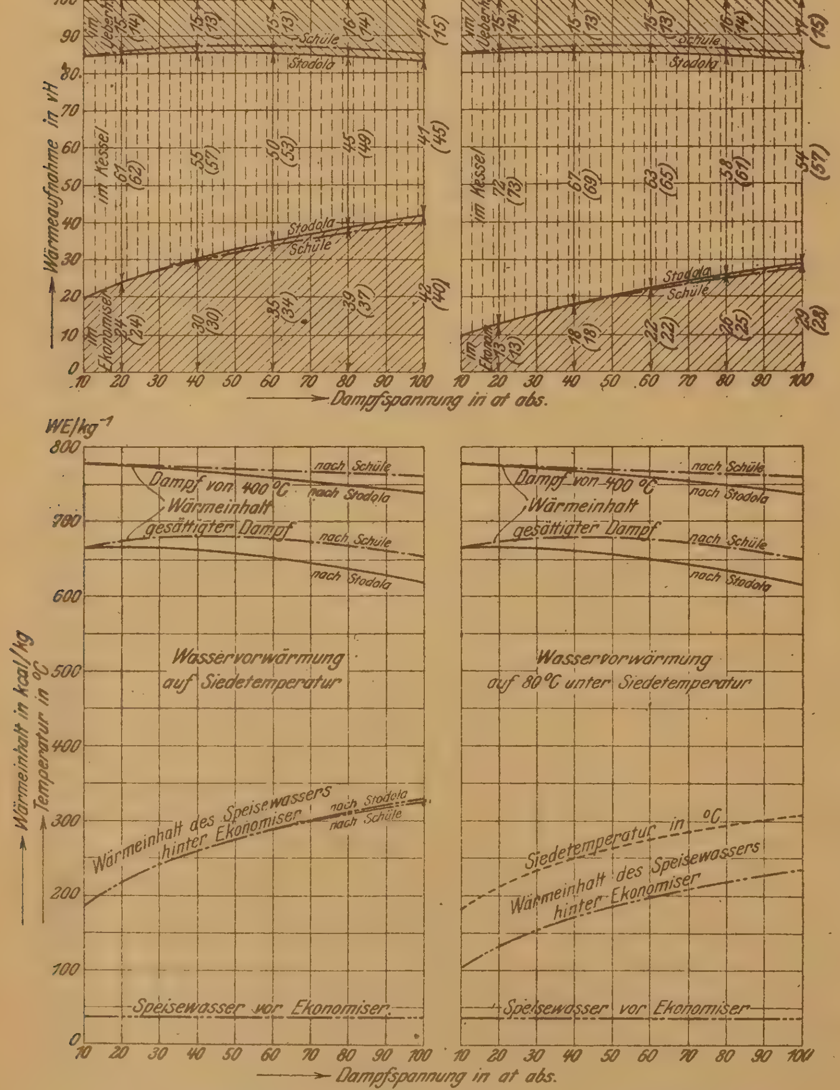


Abb. 1. und 2. Wärmeverteilung auf Ekonomiser, Kessel und Überhitzer bei Dampf von 400° C für Drücke von 10 bis 100 at.

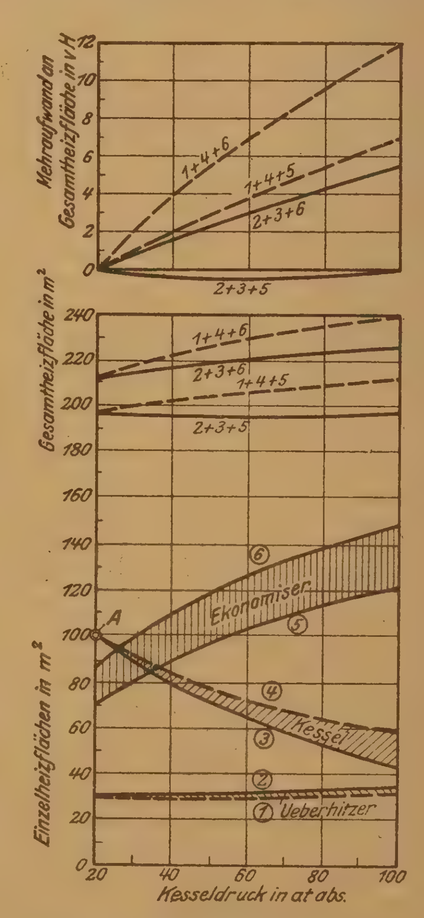


Abb. 3. Verhältnismäßige Größe der Heizflächen von Ekonomiser, Kessel und Überhitzer für Drücke von 20 bis 100 at bei 400° C Dampftemperatur für Kesselanlagen von gleichem Gesamtwirkungsgrad und bei derselben stündlichen Kohlenmenge.

ten die Abmessungen eines bewährten Steilrohrkessels von 20 at. Wie mehrfach im weiteren Verlauf dieser Arbeit, wurde auch hier angestrebt, die Berechnungen so durchzuführen, daß sie tunlichst allgemein verwertet werden können, und daher Zufälligkeiten bei Festsetzung der Ausgangswerte nach Möglichkeit vermieden. Beispielsweise erhalten Überhitzer, Kessel und Ekonomiser andere Abmessungen, je nach der Lage des Überhitzers, nach der Zahl und Anordnung der Kesselzüge usw. Auf die Gesamtheizfläche hat endlich die Wärmedurchgangszahl des Ekonomisers insofern großen Einfluß, als der Ekonomiser bei sehr hohen Drücken weit mehr Wärme als bei 15 bis 20 at aufnehmen muß.

Es wurden daher für den 20 at-Kessel die Wärmedurchgangszahlen für die Vor- und Nachheizfläche des Kessels und den Überhitzer unter der Annahme ausgerechnet, daß die Eintrittstemperatur der Rauchgase in den Überhitzer

a) = 850 °C (Linie 2 und 3 in Abb. 3),
b) = 920 °C (Linie 1 und 4 in Abb. 3) betrage.

Dann wurde unter der weiteren Voraussetzung, daß die Wärmedurchgangszahlen dieselben bleiben, berechnet, wie groß für dieselbe Kohlenmenge, denselben Wirkungsgrad und dieselbe Speisewassertemperatur (35 °C) bei andern Drücken die verschiedenen Heizflächenteile ausfallen, wenn die Temperaturen am Beginn und am Ende der Kesselheizfläche dieselben bleiben. Die Annahme unveränderter Wärmedurchgangszahlen ist nicht ganz richtig, genügt aber für unsere Zwecke und ist vor allem einfach und übersichtlich. Selbstverständlich wurde die Änderung des mittleren Temperaturunterschiedes in den einzelnen Heizflächenteilen und der von ihnen aufgenommenen Wärmemengen bei zunehmendem Druck berücksichtigt.

Endlich wurde auf ganz ähnliche Weise ermittelt, wie sich die Ekonomiserheizfläche bei gleicher Ein- und Austrittstemperatur der Rauchgase und bei einer Wassererwärmung auf 80 °C unter Sättigungstemperatur mit dem Druck ändert, wenn sie bei dem 20 at-Kessel 70 vH oder 85 vH der Kesselheizfläche beträgt, Linien 5 und 6 in Abb. 3. Die Linien stellen also Grenzkurven dar, zwischen denen die gesuchten Werte für die verschiedensten Fälle liegen. Die Kesselheizfläche bei 20 at wurde in Abb. 3 gleich 100 m² gesetzt. Beträgt also z. B. bei einem 20 at-Kessel die Kesselheizfläche 100 m², die Überhitzerheizfläche 29,5 m² und die Ekonomiserheizfläche 70 m², so sind die entsprechenden Werte bei 100 at und derselben Dampftemperatur (400 °C) etwa

Heizfläche des Kessels	42 bis	57,5 m²
Heizfläche des Überhitzers	34,5 bis	33 m²
Heizfläche des Ekonomisers		122 m²

Hatte der Ekonomiser bei 20 at aber 85 m², so müßte bei 100 at seine Heizfläche auf rd. 150 m² erhöht werden. Für eine von 100 m² abweichende Kesselgröße lassen sich die zugehörigen Heizflächen durch Multiplikation der Werte von Abb. 3 mit dem Vielfachen der Kesselheizfläche von 100 m² schnell finden.

Im oberen Teil der unteren Hälfte von Abb. 3 sind die Gesamtheizflächen für die zusammengehörenden Kombinationen eingetragen, und zwar wieder bezogen auf auf 100 m² Kesselheizfläche bei 20 at. Im obersten Feld ist endlich angegeben, um wieviel vH die Gesamtheizflächen bei höheren Drücken größer als bei 20 at sind. An der Hand von Abb. 3 ist es für alle vorkommenden Fälle möglich, von den Abmessungen erprobter Kessel von normalem Druck schnell auf die Abmesungen bei hohen Dampfspannungen zu schließen. Bemerkenswert in Abb. 3 ist der starke Anteil des Ekonomisers an der Gesamtheizfläche bei hohen Drücken.

Es kommt daher bei hohen Dampfspannungen sehr viel auf möglichst guten Wärmeübergang im Ekonomiser an. Lange Rauchgaswege, hohe Rauchgasgeschwindigkeiten, Vermeiden toter Ecken sind anzustreben. Selbst größerer Zugverlust oder höherer Kraftbedarf des künstlichen Saugzuges wird vielfach hinter der Bedeutung der Ersparnisse an Anlagekosten bei Höchstdruckekonomisern von großer spezifischer Heizflächenleistung zurücktreten.

Bei hohem Dampfdruck ist die Wärmeübergangszahl α von Rohrwand an überhitzten Dampf und damit auch die spezifische Leistung von 1 m² Überhitzerheizfläche größer als bei 10 bis 20 at. Trotz seines hohen spezifischen Gewichtes verbessert aber Höchstdruckdampf die spezifische Heizflächenleistung von Überhitzern nur wenig, weil der schlechte Wärmeübergang von den Rauchgasen an die Rohrwand einen überragenden Einfluß auf die Wärmedurchgangszahl ausübt. Dagegen dürfte er der Lebensdauer der Überhitzerschlangen günstig sein, weil das Temperaturgefälle zwischen Rohrwand und überhitztem Dampf nur ein Bruchteil desjenigen bei 20 at ist. Die hohe mechanische Beanspruchung der Überhitzerschlangen bei Höchstdruckdampf wird daher voraussichtlich durch ihre bessere Kühlung wieder aufgehoben, Dampftemperaturen von 400 bis 450 °C dürften bei richtig gebauten und bemessenen Überhitzern ohne nachteiligen Einfluß sein.

Erzeugung von Höchstdruckdampf.

Dampf sehr hoher Spannung hat man bereits vor etwa 20 Jahren für Sonderzwecke, z. B. für den Betrieb von Triebwagen und Lastkraftwagen, verwendet. Die Bauteile jener Kessel sind aber für ortfeste Dampfkessel ungeeignet, und es ist zu prüfen, auf welche von der üblichen abweichende Weise Höchstdruckdampf im Großen erzeugt werden kann. Bei Verwendung der normalen Kesselbauarten für Drücke von mehr als 25 bis 30 at werden, wie noch gezeigt wird, die Anlagekosten sehr hoch, besonders wenn der Wasserinhalt der Kessel einigermaßen auskömmlich sein soll. Trotzdem wird man, soweit sich dies zur Zeit übersehen läßt, zunächst versuchen, Steilrohrkessel und Sektionalkessel von üblichem Aufbau den besonderen Bedingungen von Höchstdruckdampf anzupassen und durch geeignete Formgebung und Bemessung die Herstellungskosten möglichst zu verringern.

Sieht man von den „normalen" Kesseln ab, so erwecken besonders die Atmos-Kessel und der Benson-Kessel Interesse.

Der A t m o s - K e s s e l[1]) besteht aus einzelnen wagerechten Rohren von 200 bis 350 mm Dmr. Diese Rohre sind nur zum Teil mit Wasser gefüllt und drehen sich mit etwa 300 Uml./min um ihre Achse. Dadurch wird das Wasser konzentrisch an die Rohrwand gepreßt, und Dampfblasen werden sofort bei ihrem Entstehen nach dem Innern des Wassermantels gedrückt. Obgleich also der Kessel keinen Wasserumlauf hat, wird die Rohrwand kräftig gekühlt, weil sich keine Dampfblasen festsetzen können.

An sich hat aber der Atmos-Kessel keine besondere Eigenheit, die eine höhere spezifische Heizflächenbelastung als bei normalen Dampfkesseln in Aussicht stellen würde. Die Leistung von Kesselheizflächen hängt nämlich fast nur von der Temperatur im Feuerraum und von der Lage der Heizfläche zum Rost ab. Die Höhe der Feuerraumtemperatur ist begrenzt, und zwar im Gegensatz zu vielfach geäußerten Ansichten weniger durch Rücksichten auf die Lebensdauer der Rohre als durch Rücksichten auf die Haltbarkeit des feuerfesten Mauerwerkes.

Die hohen spezifischen Baukosten der Rohre des Atmos-Kessels werden aber voraussichtlich dazu zwingen, sie nur im Bereich hoher Temperaturen zu verwenden, und daher rühren die hohen Werte, die für die spezifische Heizflächenleistung des Atmos-Kessels genannt werden. In diesem Temperaturbereich leistet aber 1 m² Heizfläche das gleiche wie die ersten Wasserrohrreihen normaler Wasserrohrkessel, nämlich 300 bis 500 kg/m²h²).

[1]) Z. Bd. 66 (1920) S. 683.
[2]) Münzinger: Leistungssteigerung von Großdampfkesseln S. 18 u. f.

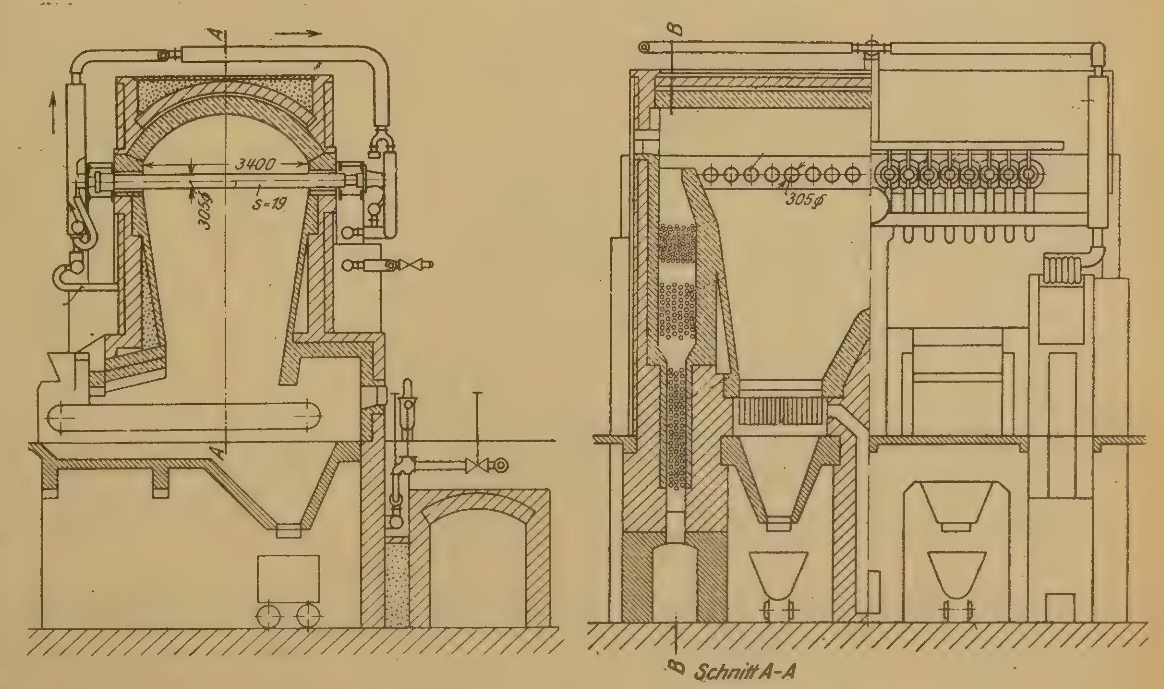


Abb. 4 und 5. Atmos-Kessel für 100 at, 400 °C und 18000 kg ständl. Dampferzeugung.

Abb. 4 und 5 zeigen einen Atmos-Kessel für 18 t/h Dampferzeugung bei 100 at und 420 °C. Er hat 16 Rohre von 305 mm äußerem Durchmesser und 19 mm Wandstärke und einer der unmittelbaren Beheizung durch das Feuer ausgesetzten Länge von 3400 mm. Seine „Kesselheizfläche" beträgt somit rd. 52 m². Beim Betriebsmann werden besonders Bedenken erregen: die Reinigung der inneren Heizfläche und der Antrieb der Rohre. Ein in der Carnegie-Zuckerraffinerie in Göteborg aufgestellter Kessel von 60 at soll sich jedoch in 3jährigem Betriebe gut bewährt haben.

Nach den für den 18 000 kg-Kessel angegebenen Abmessungen beträgt der Wasserinhalt der Rohre 2200 bis 2700 kg, d. h. nur rd. 20 bis 25 vH von dem eines Sektionalkessels mit sehr kleinem Wasserinhalt. Der Kessel eignet sich daher, wie noch gezeigt wird, ohne Zuschaltung eines Wärmespeichers für Werke mit heftigen Spitzen noch weniger als ein Sektionalkessel. An der Hand einer einfachen Berechnung läßt sich ferner zeigen, daß es bei Kesseln mit ähnlichen Bauteilen, wie beim Atmos-Kessel, d. h. mit Heizflächenteilen von sehr hohen spezifischen Kosten, darauf ankommt, daß

1) die unmittelbare Wärmeübertragung durch Strahlung möglichst groß ist;
2) die Feuerung mit möglichst hohem CO_2-Gehalt arbeitet;
3) die Vorwärmung des Speisewassers der Sättigungstemperatur so weit genähert wird, als es betriebstechnisch zulässig ist.

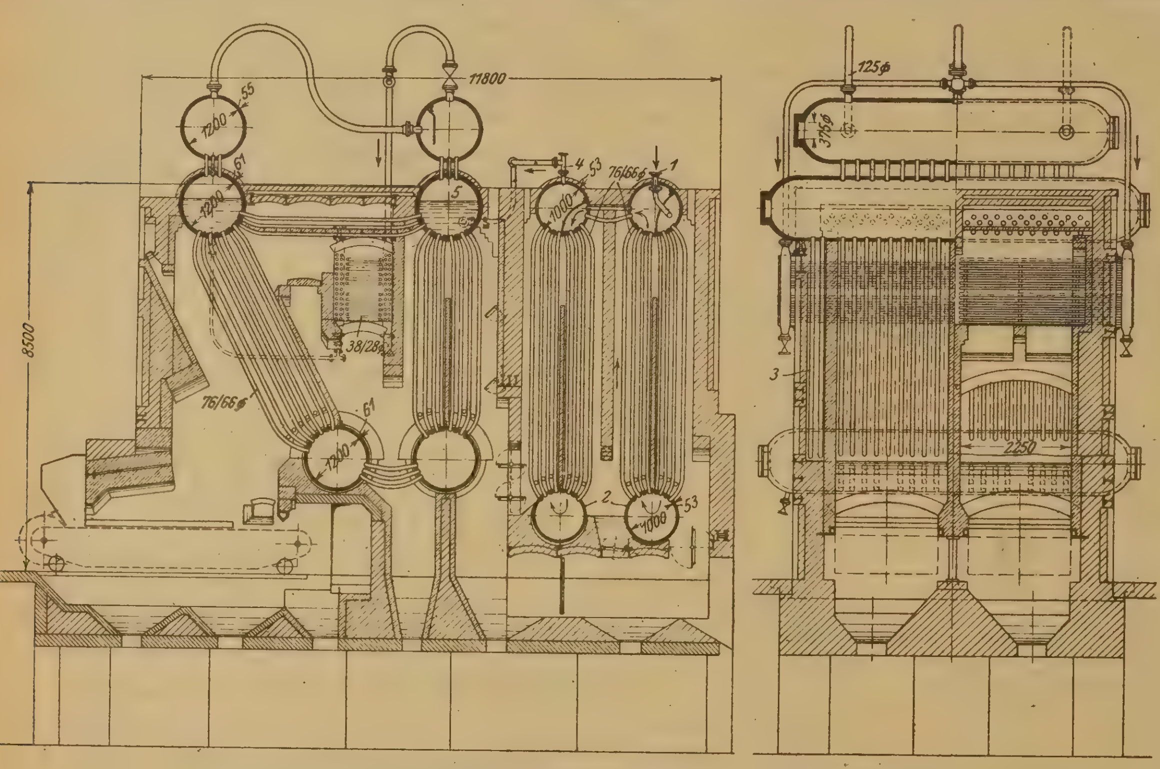


Abb. 6 und 7. Höchstdruck-Steilrohrkessel von Walther & Co., Köln-Dellbrück.

Wird Punkt 1 nicht beachtet, so wird durch den Rückgang der Leistung der sehr teuren Heizfläche jede Wirtschaftlichkeit unmöglich. Arbeitet die Feuerung mit schlechtem CO_2-Gehalt, so nehmen die Rohre nur wenig Wärme auf, und der Wärmeinhalt der Rauchgase hinter ihnen ist noch so hoch, daß auch in den Ekonomisern stärkere Dampfbildung auftritt. Sind endlich die Ekonomiser zu klein bemessen, so müssen die Rohre einen Teil derjenigen Wassererwärmung leisten, der thermisch ebensogut, aber billiger von der Ekonomiserheizfläche geleistet werden könnte.

Über die Baukosten liegen keine Unterlagen vor. Ein Vergleich mit Sektionalkesseln oder Steilrohrkesseln war daher leider nicht möglich.

Benson[1]) sucht die bei hohen Drücken sehr schweren und teuren Kesseltrommeln dadurch zu vermeiden, daß er das Wasser unter einem Druck, der etwas höher als der kritische ist (224,2 at), zunächst bis zur kritischen Temperatur (374 °C) erwärmt. Im kritischen Punkt ist die latente Wärme Null, d. h. das Wasser geht plötzlich als Ganzes vom flüssigen in den dampfförmigen Zutand über. Der Dampf von annähernd 225 at wird in derselben Schlange auf etwa 390 °C überhitzt und dann auf 105 at gedrosselt.

Die Ausnutzung des Dampfes von 105 at und 420 °C erfolgt bei Benson in normaler Weise, braucht daher nicht besonders beschrieben zu werden. Eine Benson-Anlage für 1000 kW wird zurzeit in Rugby in England gebaut. Kessel und Ekonomiser bestehen aus fünf parallel geschalteten Rohrschlangen von 20,3/30,5 mm Dmr., die Überhitzerschlangen haben 20,3/30,5 mm Durchmesser. Nach den veröffentlichten Angaben liegt die Wassergeschwindigkeit in den Kesselschlangen etwa zwischen 0,8 und 2,5 m/s[2]). Der Wasserinhalt des Kessels soll nur 226 kg betragen. Dies würde bei der den späteren Berechnungen zugrunde gelegten Kesselleistung einem Wasserinhalt von rd. 1 m³ entsprechen. Der Benson-Kessel hat also einen noch weit kleineren Inhalt als ein Sektionalkessel von geringerem Wasserraum, und ist daher gegen Spitzenbelastung noch viel empfindlicher als dieser. Deshalb wird auch er, seine sonstige Bewährung vorausgesetzt, fast immer einen Wärmespeicher benötigen. Unreines Speisewasser verträgt der Benson-Kessel noch weniger als der Atmos-Kessel.

Die grundsätzliche Schwäche des Benson-Verfahrens ist aber der sehr hohe Druck von rd. 250 at der Speisepumpe. Da auch Benson nur mit Dampf von rd. 100 at arbeiten will, spielt die Arbeit der Speisepumpe bei Benson-Anlagen eine rd. 2,5 mal größere Rolle als bei einem Kessel üblicher Bauart für 100 at Dampfdruck. Nun verbraucht die Speisepumpe bei 100 at bereits 2 vH des Gesamtverbrauches, bei 250 at somit rd. 5 vH. Eine mit Benson-Kesseln arbeitende Kraftmaschinenanlage hätte also lediglich infolge des höheren Betriebsdruckes im Kessel einen um 3 vH höheren Dampfverbrauch als eine Anlage mit demselben Dampfdruck (rd. 100 at), aber normalen Kesseln. Der Benson-Kessel dürfte billiger sein als Sektional- und Steilrohrkessel. Armaturen, Pumpen und Rohrverbindungen werden aber erheblich größere Schwierigkeiten machen, die Empfindlichkeit gegen nicht ganz reines Speisewasser ist sicher sehr groß, und das zuverlässige Arbeiten des sehr hoher Temperatur und sehr großem Druck ausgesetzten Drosselorganes scheint unsicher. Alles in allem dürfte in größeren Anlagen das Benson-Verfahren den bekannten Verfahren schwerlich überlegen sein.

Fast alle bisher bekannt gewordenen Konstruktionen von „normalen" Höchstdruckkesseln, d. h. von Kesseln mit unmittelbarer Beheizung, selbsttätigem Wasserumlauf und ruhender Heizfläche, sind unter enger Anlehnung an das „System" entworfen, das die betreffende Fabrik für normale Dampfspannungen auszuführen pflegt. Die Annäherung geht zuweilen soweit, daß der Höchstdruckkessel lediglich am kleinen Durchmesser und der großen Wandstärke der Trommeln zu erkennen ist. Die Voraussetzungen sind aber bei Kesseln für normale Drücke und bei Höchstdruckkesseln so verschieden, daß es in vielen Fällen ein Unding ist, das bei niedriger Dampfspannung bewährte System sklavisch auch auf Höchstdruckkessel anzuwenden. Einer der Hauptzwecke dieser Arbeit ist es, diese Zusammenhänge zu zeigen und einige für den Bau wirtschaftlicher und betriebsicherer Kessel wichtige Gesichtspunkte zu entwickeln. Da mit zunehmendem Dampfdruck die Heizfläche des Kessels immer kleiner und die des Ekonomisers immer größer wird, so hat es keinen Sinn, bei sehr hohen Drücken die Kesselheizfläche, die verhältnismäßig klein wird, in viele Bündel zu zerlegen und womöglich die Mehrzahl hiervon hinter den Überhitzer zu schalten. Dies ist um so verfehlter, als dadurch mehr Trommeln nötig sind, als wenn man sich mit etwa 2 Bündeln und 3 bis höchstens 4 Trommeln begnügt, womit man häufig gut auskommt. Die Trommeln sind aber das Teuerste bei Höchstdruckkesseln. Bei Höchstdruckkesseln kann man ferner eine einigermaßen ausreichede Speicherfähigkeit durch Anordnung großer Wasserräume aus physikalischen und konstruktiven Ursachen mit halbwegs vernünftigen Kosten nicht mehr erzielen. Die Teilung der Kesselheizfläche in mehr als 2 Bündel hat daher bei Höchstdruckkesseln im allgemeinen keinen Zweck.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1166.

[2]) Power 1923 II S. 496 u. 842.

Da endlich bei sehr hohen Drücken nicht nur die Wandstärke, sondern auch der Preis für 1 kg der Trommeln sehr groß ist, weil sie nicht mehr genietet, sondern aus teueren Baustoffen und mit teueren Verfahren hergestellt werden müssen, kann ganz allgemein gesagt werden, daß Kessel und Ekonomiser ohne alle Teile von großem Durchmesser gebaut werden sollten.

Abb. 6 bis 10 bringen eine größere Zahl von Entwürfen für Höchstdruck-Steilrohrkessel von 60 bis 100 at. Nietnähte sind völlig vermieden, die Trommeln entweder durch Schmieden oder Pressen hergestellt. Die Trommeln schützt man im Bereich höherer Gastemperaturen vor der Berührung durch die Rauchgase, um die Walzstellen zu schonen, zusätzliche Spannungen in den dicken Blechen zu verhindern und ihre Temperatur möglichst dicht an der Sättigungstemperatur des Dampfes zu halten, da Zähigkeit und Elastizität von Flußeisen in dem in Frage kommenden Temperaturbereich bereits merklich zurückgehen.

In Amerika sind zur Zeit zwei Sektionalkessel von 1465 m² und von 1350 m² für 84 at Druck und 400 °C bei den Babcock & Wilcox-Werken für das Calumet-Kraftwerk und das Weymouth-Kraftwerk im Bau. Die Amerikaner haben also den Weg des Großexperimentes vor uns beschritten.

Verhalten von Höchstdruckkesseln im Betrieb.

Benson scheint der Ansicht zu sein, daß das Aufkochen der Wasseroberfläche in den Obertrommeln und das Mitreißen von Wasser im Dampf bei den üblichen Dampfkesseln mit zunehmendem Druck immer stärker wird. Belege für diese Behauptung lassen sich aus den bisherigen Erfahrungen an Kesseln für normale Drücke nicht ableiten. Auch physikalische Überlegungen sprechen nicht für diese Vermutung. Zur Klärung dieser Frage habe ich mit meiner Theorie des Wasserumlaufes[1]) für ein mit 200 000 kcal/m²h belastetes, 6 m langes, senkrechtes Steigrohr eines Steilrohrkessels von 50 mm lichtem Durchmesser unter der Voraussetzung, daß das zugehörende, nicht beheizte Fallrohr dieselben Abmessungen hat, für Drücke von 15 bis 100 at folgende Größen ermittelt:

1) die Geschwindigkeit v_1 in m/s des in das Steigrohr eintretenden Wassers;

2) die Geschwindigkeit v_2 in m/s des aus dem Steigrohr austretenden Dampfwassergemisches;

3) den Wassergehalt w_3 in Raumteilen des aus dem Steigrohr austretenden Dampfwassergemisches.

Die Lebensdauer der Wasserrohre hängt letzten Endes vom Wassergehalt des austretenden Dampfwassergemisches ab, weil mit zunehmendem Dampfgehalt die Kühlung der beheizten Rohrwand immer schwächer wird und mehr und mehr ein Durchbrennen zu befürchten ist.

Abb. 11 zeigt, daß v_1 sich mit zunehmendem Druck nur wenig ändert; v_1 beträgt bei 15 at rd. 1,85 m/s, bei 50 at rd. 1,8 m/s und bei 100 at rd. 1,67 m/s. Im Gegensatz zu v_1 nimmt die Austrittsgeschwindigkeit v_3 mit steigendem Druck schnell von 8,8 m/s bei 15 at auf 2,6 m/s bei 100 at ab, weil der Wasser halt w_3 mit wachsendem Dampfdruck schnell anwächst, und zw von 20 Raumteilen bei 15 at auf 60 Raumteile bei 100 at. D rührt davon her, daß infolge des bei hoher Spannung sehr ringen spezifischen Volumens von Dampf der Untersch

¹) Leistungssteigerung von Großdampfkesseln S. 64 u. f.

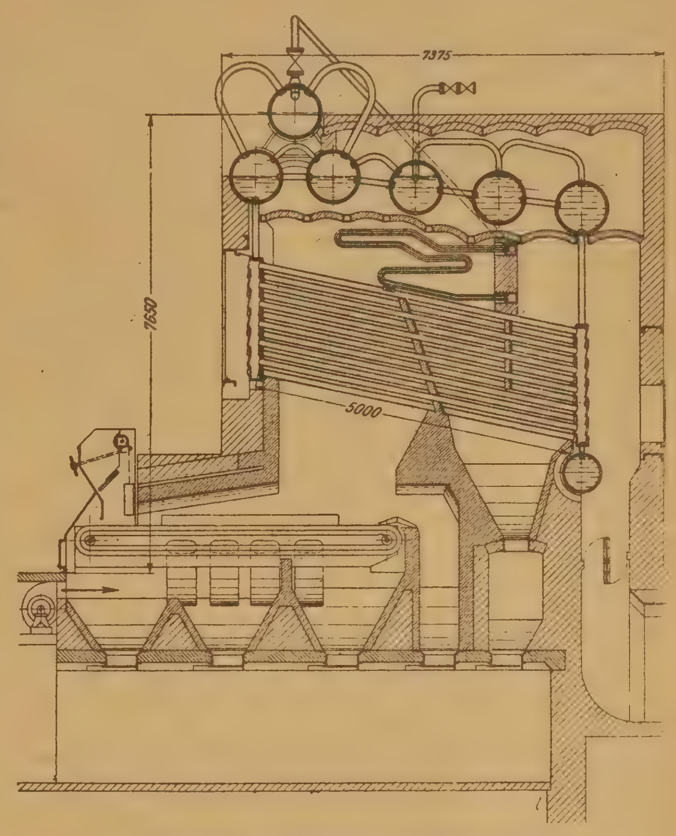


Abb. 8. 100 at-Kessel von A. Borsig, Tegel.

Abb. 9. Höchstdruck-Steilrohrkessel der Hanomag, 420 m² Heizfläche, 110 at.

Abb. 10. Höchstdruck-Dampfkessel von Gebr. Steinmüller, Gummersbach.

zwischen dem mittleren spezifischen Gewicht im Steigrohr und im Fallrohr und damit die den Wasserumlauf bewirkende Kraft weit kleiner als bei niederen Drücken ist.

Es spricht also nichts dafür, daß der Wasserumlauf in dem untersuchten Druckgebiete gegenüber den heutigen Drücken ungünstiger oder gar für die Lebensdauer der Wasserrohre bedrohlich wird.

Ein weiteres Maß für das „Spucken" eines Kessels gibt das auf 1 m² Spiegelfläche der Obertrommeln stündlich aufsteigende Dampfvolumen. Nach Abb. 12 und 13 verhalten sich auch in dieser Beziehung Höchstdruckkessel eher günstiger als Kessel für normalen Druck, weil die Spiegelfläche geringer belastet ist.

Bisher sprechen also weder praktische noch theoretische Erwägungen dafür, daß der Wasserumlauf bei Höchstdruckdampfkesseln, die ähnlich wie normale Kessel gebaut sind, ungenügend wird. Eher dürfte das Gegenteil zutreffen.

Infolge der Trägheit der Feuerungen, besonders von Rosten, und aus anderen naheliegenden Gründen muß ein Kessel eine gewisse Speicherfähigkeit haben, d. h. ohne Verstärkung der Feuer lediglich durch Druckabsenkung aus seinem Wasserinhalt mehr Dampf hergeben können, als dem augenblicklichen Gleichgewicht zwischen Rostbelastung und Dampferzeugung entspricht. Hierzu

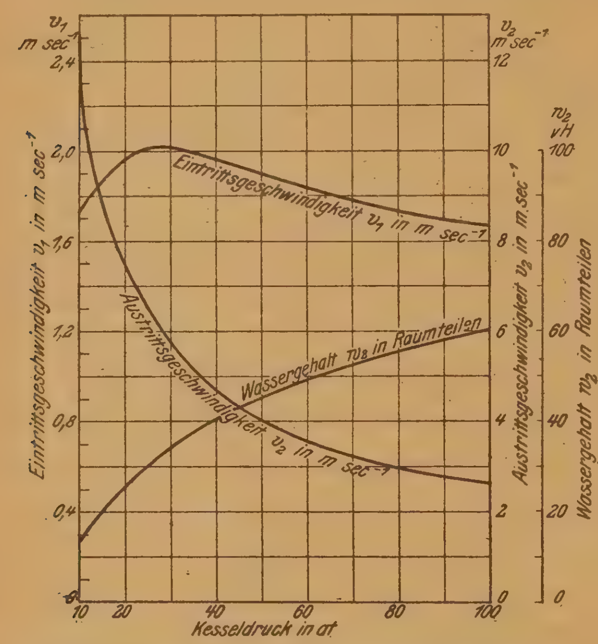


Abb. 11. Verhalten des Wasserumlaufes im Steigrohr eines Steilrohrkessels bei Drücken von 10 bis 100 at.

ist ein gewisser Wasserinhalt erforderlich, da die Druckabsenkung mäßig bleiben soll. Im allgemeinen soll in neuzeitlichen Kraftwerken der Dampfdruck im Gebiet von 15 bis 25 at um nicht mehr als 1,5 bis höchstens 3 at unter den Abblasedruck fallen.

Abb. 12 zeigt den Wasserinhalt der den Berechnungen zugrunde gelegten Kessel für Drücke von 10 bis 100 at. Er beträgt selbst bei Steilrohrkesseln mit reichlich bemessenem Wasserinhalt für 100 at nur noch rd. 50 vH desjenigen bei 15 at, Sektionalkessel haben nur rd. den halben Wasserinhalt von Steilrohrkesseln. Ein Sektionalkessel von 100 at hat daher nur etwa 20 vH des Wasserinhaltes eines Steilrohrkessels von 15 at. Es fragt sich, ob die kleinen Wasserräume von Höchstdruckkesseln für praktische Bedürfnisse ausreichen und ob Steilrohrkessel infolge ihrer größeren Speicherfähigkeit ein ähnliches Übergewicht im Höchstdruckgebiet bekommen könnten, wie es für niedrigere Drücke der Flammrohrkessel gegenüber dem Wasserrohrkessel lange Zeit hindurch hatte und wohl manchmal auch heute noch hat.

Es wurde nun für Steilrohrkessel und für Sektionalkessel berechnet, wieviel kWh Spitzenleistung sie bei Anfangsdrücken von 10 bis 100 at bei verschiedenen Druckabsenkungen hergeben können. Hierbei stellte sich heraus, daß die Speicherfähigkeit von Steilrohrkesseln bei 100 at nur rund 15 vH von derjenigen bei 10 at ist, bei Sektionalkesseln mit einer Obertrommel sinkt der Betrag gar auf 10 vH. Die weit größere Empfindlichkeit von Sektionalkesseln gegen Druckschwankungen im Vergleich zu Steilrohrkesseln geht daraus hervor, daß bei einem Kessel von bestimmter stündlicher Dampferzeugung eine Spitzenleistung von 50 kWh bei 100 at der Druck um

rd. 4,3 at bei Steilrohrkesseln und um
rd. 8,5 at bei Sektionalkesseln absenkt.

Es wurde nun eine größere Zahl von Belastungsdiagrammen verschiedener Werke daraufhin untersucht, wie groß die eine mittlere Belastung von 5 min übersteigende Spitzenleistung höchstens ist. Diese Dauer wurde gewählt in der Annahme, daß 5 min vergehen können, bis der Heizer die Lastzunahme bemerkt und die zu ihrer Deckung erforderlichen Maßnahmen durchgeführt hat. Hierbei wurde gefunden, daß in Bahnkraftwerken die größte derartige Spitzenleistung bis zu rd. 3,3 vH der normalen stündlichen Kesselleistung ausmacht.

Bei Steilrohr- und Sektionalkesseln für Spannungen von 50 bis 100 at erreicht der Druckabfall bei einer Spitze von rd. 3,3 vH der normalen stündlichen Kesselleistung die Werte, die, wie eine eingehende Untersuchung ergab, nicht mehr zugelassen werden können.

Höchstdruckkessel mit kleinen Wasserräumen eignen sich daher ohne Hilfseinrichtungen wahrscheinlich nicht für Werke mit starken Spitzen.

Die Leistung einer Turbine bei starker Druckabnahme hängt im wesentlichen von ihrer Steuerung ab. Durch geeignete Anordnung kann man ziemlich weitgehende Unempfindlichkeit erzielen.

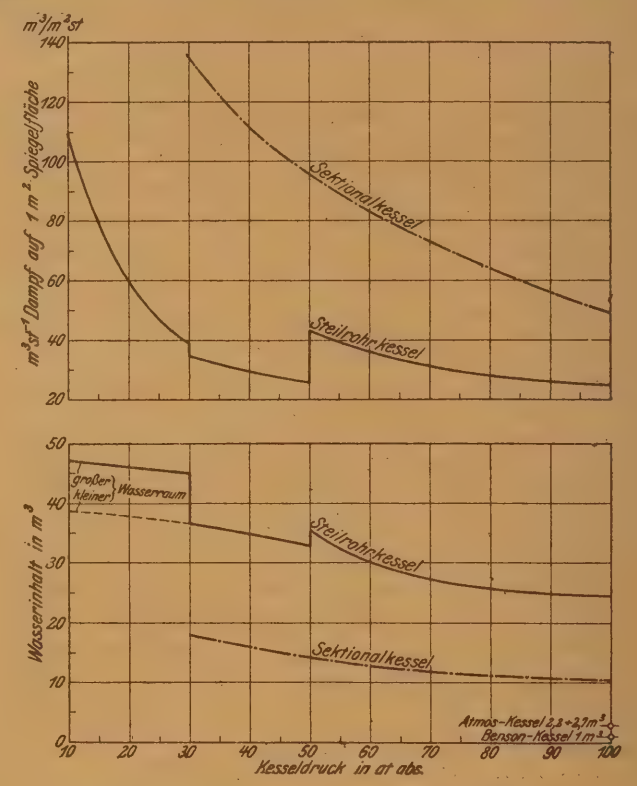


Abb. 12 und 13. Belastung von 1 m² Spiegeloberfläche in den Obertrommeln und Wasserinhalt von Kesseln für 2200 kg/h Kohlenmenge bei Drücken von 10 bis 100 at.

Mit fallendem Kesseldruck wächst aber schnell der Druckverlust in den Dampfleitungen, die für ein kleineres Dampfgewicht und ein geringeres spezifisches Volumen bemessen sind. Außerdem geht die Luftleere zurück, wodurch sich die Dampfentnahme aus dem Kessel und der Druckverlust zwischen Kessel und Turbine weiter erhöht. Diese Erscheinungen werden noch durch die gleichzeitig fallende Überhitzung[1]) verschärft. Deshalb muß bei Höchstdruckdampf genau überlegt werden, welche Absenkung des Kesseldruckes infolge von Spitzen noch zugelassen werden kann. Es läßt sich zeigen, daß bei einer Spitze, die in Bahnkraftwerken vorkommt, bei Steilrohrkesseln von 20 at der Druck um rd. 3,5 at fällt. Bei Sektionalkesseln mit einer Obertrommel und 100 at würde der Abfall rd. 37 at betragen, also weit über das Zulässige hinausgehen. Bei Steilrohrkesseln wäre er rd. 18,5 at, entsprechend einem Druck an der Turbine von rd. 77 at, wenn die Dampfgeschwindigkeit bei normaler Belastung 50 m/s beträgt. Auf Grund eingehender Untersuchungen läßt sich sagen, daß bei 100 at-Kesseln ein Spannungsabfall bei Spitzen von mehr als 10 at möglichst vermieden werden sollte und daß in den Dampfleitungen kleinere Dampfgeschwindigkeiten als bei 15 at gewählt werden müssen. Der Druck an der Turbine beträgt dann je nach der Weite der Dampfleitungen noch 86 bis 80 at. Bei 10 at Drucksenkung kann ein Steilrohrkessel von 100 at mit reichlich bemessenem Wasserinhalt noch dieselbe, ein Sektionalkessel aber nur noch die halbe Spitze wie ein 15 at-Kessel bei 2 at Spannungssenkung aufnehmen. Höchstdruck-Sektionalkessel mit einer Obertrommel brauchen daher bei Spitzenwerken auf alle Fälle Wärmespeicher, die aber, wie später gezeigt werden wird, schon aus wirtschaftlichen Gründen auch bei Steilrohrkesseln zweckmäßig, wenn nicht notwendig sind.

[1]) Münzinger: Amerikanische Dampfkessel, S. 158/60.

Abhängigkeit des Kesselpreises vom Dampfdruck.

Herstellung und Wandstärke der lebenswichtigsten Teile von Wasserrohrkesseln, d. h. der Kesseltrommeln (nur über Wasserrohrkessel wird hier berichtet), werden im wesentlichen durch behördliche Vorschriften geregelt. Sie stammen fast durchweg aus einer Zeit, wo Dampfdruck und Heizflächenbeanspruchung erheblich geringer waren als heute und wo die Bleche noch nicht den hohen Beanspruchungen neuzeitlicher, hochbelasteter Dampfkessel von großer Heizfläche ausgesetzt waren.

Eine Reihe ernster Kesselschäden hat weite Kreise zu der Überzeugung geführt, daß die Vorschriften einer Nachprüfung bedürfen. Insbesondere haben neuere Untersuchungen gezeigt, daß die Temperatur, der ein Blech im Betrieb ausgesetzt ist und die hauptsächlich vom Dampfdruck abhängt, auf seine Zähigkeit sehr großen Einfluß hat. Auch andere Einflüsse müssen in Zukunft vor allem bei Höchstdruckkesseln mehr als bisher berücksichtigt werden.

Es ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit, diese verwickelten, vielfach noch nicht ganz geklärten Fragen, deren Beurteilung eingehende Fachkenntnisse erfordert, zu erörtern[1]). Es sei nur gesagt, daß die Firma Fried. Krupp A.-G. zwei Spezialnickelstähle D und A entwickelt hat, die als Baustoff für Höchstdruckkessel eine hervorragende Rolle spielen dürften. Sie sind insbesondere gegen unvorsichtige Behandlung beim Herstellen der Trommeln und gegen erhöhte Temperaturen viel unempfindlicher als *SM*-Flußeisen.

Die Trommeln von Wasserrohrkesseln werden hauptsächlich durch Nieten hergestellt. Bei Drücken von mehr als 35 bis 40 at kommt man aber auf Blechstärken, welche die Herstellung und das Dichten der Nietnähte erschweren. Das Biegen der dicken Bleche macht große Schwierigkeiten, und die sehr langen Niete können nicht mehr so gut durchgearbeitet werden wie solche normaler Länge. Im allgemeinen wird man daher annehmen dürfen, daß eine Blechstärke von 40 bis 45 mm zur Zeit die obere Grenze ist, die noch sicher beherrscht werden kann. Krupp stellt neuerdings Kesseltrommeln bis zu den größten Abmessungen durch Schmieden her, und zwar nicht nur den Kesselschuß selbst, sondern die gesamte Trommel einschließlich der Böden in einem einzigen Stück. Derartige Trommeln werden aber weit teurer als genietete, man wird sie daher nur verwenden, wo zwingende Gründe vorliegen. Der Kesselpreis hängt außer vom Druck vorliegen.

Der Kesselpreis hängt außer vom Druck flächenbelastung, Bauart, Blechbeanspruchung usw., daß es selbstverständlich nicht möglich ist, ganz allgemein zu sagen, ein Kessel von z. B. 80 at sei um einen bestimmten Satz teurer als einer von z. B. 20 at. Man muß daher versuchen, ähnlich wie bei Feststellung der Abhängigkeit der Heizflächengröße vom Druck, für verschiedene Voraussetzungen Vergleichswerte zu finden, damit man etwa sagen kann: wenn Kessel für verschiedene Drücke dieselbe Bauart haben und nach denselben Grundsätzen und Annahmen bemessen und hergestellt werden, so besteht zwischen ihren Preisen der und der Zusammenhang. Die Berechnung wurde daher für 2 Bauarten (Steilrohrkessel und Schrägrohrkessel) durchgeführt, deren konstruktive und technische Einzelheiten so gewählt wurden, daß ihre Preise möglichst eine obere und eine untere Grenze für die Baukosten von Höchstdruckkessln darstellen

Für die obere Grenzkurve und das Druckgebiet von 15 und 50 at wurde ein bewährter Steilrohrkessel mit 3 Obertrommeln und einer Untertrommel (Typ X) gewählt, für 50 bis 100 at ein anderer Steilrohrkessel (Typ Y). Die Dampf- und Wasserräume beider Kessel wurden absichtlich sehr reichlich angenommen. Die untere Grenzkurve gilt für einen Sektionalkessel, der etwa mit dem Babcock & Wilcox-Kessel im Waukegan-Kraftwerk übereinstimmt, sehr kleine Wasser- und Dampfräume und keinen besonderen Dampfsammler hat.

Um von den zahlreichen nicht beherrschbaren, durch die Zeitverhältnisse bedingten Einflüssen der Preise frei zu bleiben, habe ich die Preise in Goldmark für die Verhältnisse in der ersten Hälfte des Jahres 1914 errechnet.

Da sich die Festigkeitseigenschaften verschiedener Baustoffe mit der Temperatur in verschiedener Weise ändern, wurden zwei grundsätzlich verschiedene Fälle durchgerechnet:

Fall A: Zulässige Zugbeanspruchung der Trommelbleche nimmt mit zunehmendem Druck ab:

von 30 bis 50 at: SM-Flußeisen, genietete Längsnähte, eingenietete Böden, Zugbeanspruchung = konst. = 900 kg/cm²;

von 30 bis 50 at: D-Nickelstahl, Kesselschüsse geschmiedet, Böden eingenietet,

von 50 bis 100 at: A-Nickelstahl, Schüsse und beide Böden aus einem Stück geschmiedet.

Fall B. Zulässige Zugbeanspruchung der Trommelbleche unabhängig vom Kesseldruck gemäß dem bisher üblichen Rechnungsverfahren.

bis 30 at: SM-Eisen, genietete Längsnähte, eingenietete Böden, Zugbeanspruchung = konst. = 900 kg/cm²;

von 30 bis 40 at: SM-Flußeisen, härterer Sorte, genietete Längsnähte, eingenietete Böden, Zugbeanspruchung = konst. = 1000 kg/m²;

von 40 bis 50 at: D-Nickelstahl, Kesselschüsse geschmiedet, Böden eingenietet, Zugbeanspruchung = konst. = 1100 kg/cm²;

von 50 bis 100 at: A-Nickelstahl, Schüsse und beide Böden aus einem Stück geschmiedet, Zugbeanspruchung = konst. = 1200 kg/cm².

Beide Fälle unterscheiden sich also grundsätzlich durch den Sicherheitsgrad und zum Teil durch die Herstellung. Bei Fall A ist von 30 at bis 100 at die Sicherheit gegen Reißen 4,5, diejenige gegen Formänderung 2,5. Die Sicherheit der Trommeln ist somit oberhalb 30 at wesentlich größer als darunter. Bei Fall B ist die Sicherheit über 30 at, lediglich was die Zerreißfestigkeit betrifft, ungefähr die heute übliche, mit Bezug auf Kerbzähigkeit und Formänderung ist sie dagegen zum Teil noch geringer, insbesondere bei Berücksichtigung des Einflusses der Blechtemperatur bei den höheren Kesseldrücken.

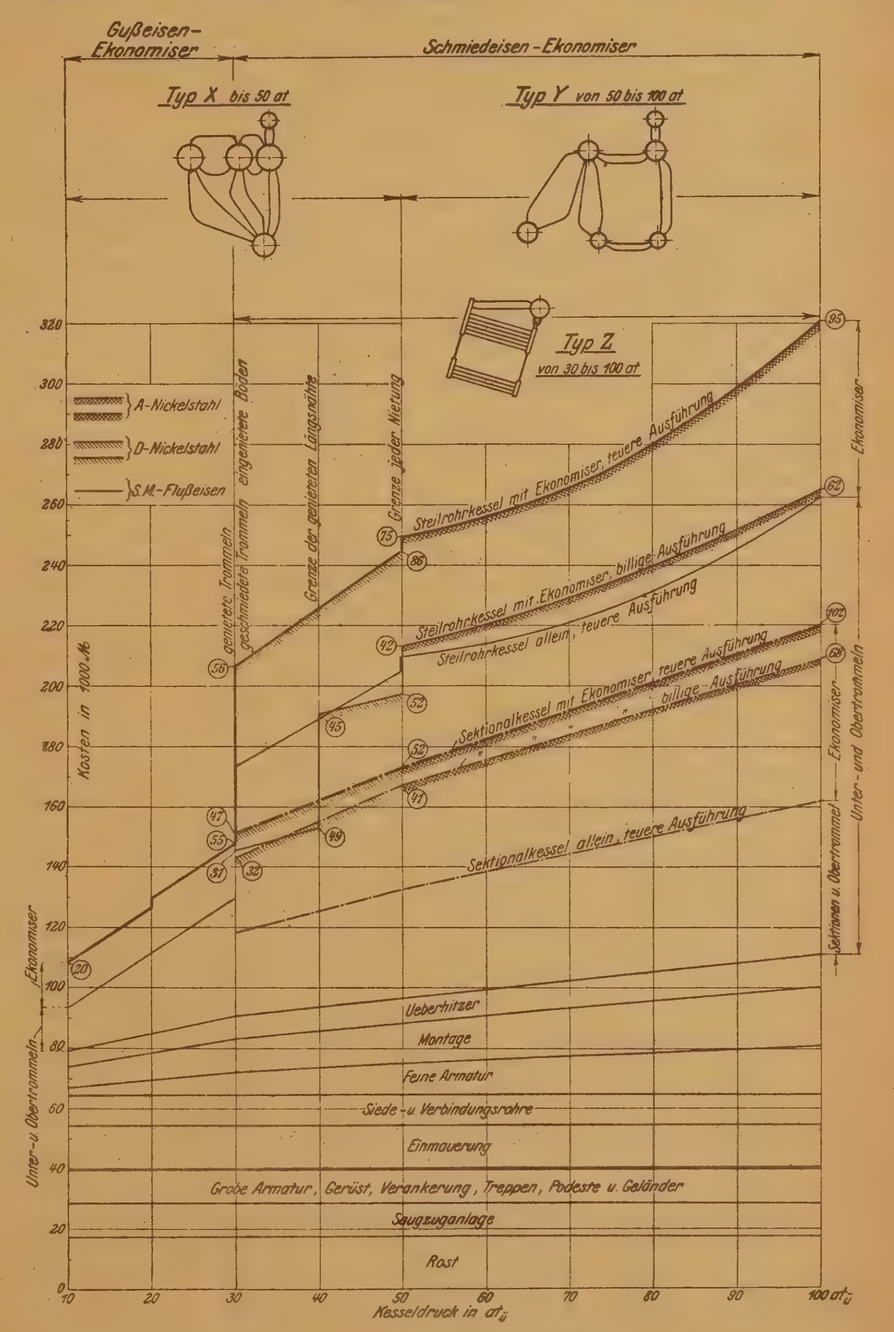


Abb. 14. Preis eines Kessels für eine stündliche Kohlenmenge von rd. 2260 kg bei Drücken von 10 bis 100 at.

[1]) Vergl. Goerens: Kesselbaustoffe, Z. Bd. 68 (1924) S. 41.

An einigen kennzeichnenden Stellen der Linien für den Gesamtpreis in Abb. 14 habe ich die Stärke des bei dem betreffenden Druck dicksten Trommelbleches eingetragen, um zu zeigen, wie stark die Trommelgewichte von der zulässigen Blechbeanspruchung beeinflußt werden. Obgleich der Wasserinhalt der Kessel mit Trommeln aus D-Nickelstahl bei 30 at kleiner als der aus SM-Flußeisen hergestellten angenommen wurde, ist ihr Preis doppelt so hoch, teils infolge der verschiedenen Materialbeanspruchung, teils infolge des verschiedenen Materialpreises. Die Preise für Steilrohrkessel oberhalb 30 und 50 at würden übrigens noch steiler steigen, wenn die Trommeldurchmesser mit zunehmendem Druck nicht immer kleiner gewählt worden wären.

Abb. 14 zeigt bei Kesseln gleicher stündlicher Wärmeerzeugung folgendes Ergebnis:

1) Der Preis eines nach Fall A berechneten Höchstdrucksteilrohrkessels samt allem Zubehör ist bei 80 bis 100 at rd. 2,4 bis 2,8mal so hoch wie der eines normalen Kessels für 15 at.

2) Der Preis eines nach Fall A berechneten Sektionalkessels samt allem Zubehör ist unter denselben Verhältnissen 1,75 bis 1,9mal so hoch[1])

3) Bei Höchstdruck-Steilrohrkesseln machen die Kosten der Trommeln den Hauptanteil an den Gesamtkosten aus[1]).

4) Werden auch Höchstdruckkessel nach den zurzeit bestehenden Grundsätzen berechnet, so kosten Steilrohrkessel bei 40 at nur rd. 70 vH, bei 50 bis 100 at nur rd. 80 vH der nach Fall I berechneten Kessel.

5) Auf die Kosten von Höchstdruck-Sektionalkesseln ist es ohne großen Einfluß, ob sie nach Fall A oder Fall B ausgeführt werden.

6) Der Preis von Höchstdruck-Steilrohrkesseln wird entscheidend von ihrem Wasserinhalt, der Art der Trommelherstellung und der gewählten Blechbeanspruchung beeinflußt.

Bei Beurteilung der wirtschaftlichen Aussichten von Höchstdruckdampf muß von folgenden Voraussetzungen ausgegangen werden:

a) Die Mehraufwendungen für Kapitalkosten dürfen nicht größer sein als die erzielten Kohlenersparnisse;

b) die Bedienung darf nicht oder nur soweit schwieriger und teurer sein, als es die erzielte Kohlenersparnis rechtfertigt;

c) die Betriebsicherheit und die Sicherheit für Leib und Gut dürfen nicht verschlechtert werden.

Wegen des nachteiligen Einflusses der hohen Sättigungstemperatur bei Höchstdruckkesseln und wegen der großen Blechdicke muß daher Vorsorge dafür getroffen werden, daß durch Temperaturunterschiede in der Blechwand oder andere Einflüsse keine zusätzlichen Spannungen zu den durch den inneren Überdruck verursachten Spannungen kommen, und daß die Trommeln vor stärkerer Beheizung durch die Rauchgase geschützt werden.

Außerdem sollten wegen ihres sehr hohen Preises bei Steilrohrkesseln Zahl und Durchmesser der Trommeln soweit verringert werden, als es konstruktive und betriebstechnische Rücksichten irgendwie zulassen.

Je kleineren Wasserraum Steilrohrkessel erhalten, um so ähnlicher werden sie aber Sektionalkesseln mit Bezug auf Empfindlichkeit bei Spitzenbelastung. Durch verhältnismäßig recht kleine Ruths-Speicher kann aber auch bei Höchstdruckkesseln mit sehr kleinem Wasserinhalt bequem dieselbe oder eine geringere Unempfindlichkeit gegen Spitzen erzielt werden, wie z. B. bei Steilrohrkesseln mit großem Wasserraum und Drücken von 15 bis 20 at. Die Schaffung eines ausreichenden Puffervermögens durch Einschaltung eines Ruths-Speichers in das Dampfnetz einer Höchstdruckanlage ist nicht nur konstruktiv und betriebstechnisch leicht möglich, sondern auch wirtschaftlich äußerst vorteilhaft. Ruths-Speicher sind hier deshalb absolut und relativ so billig, weil ihre Speicherfähigkeit verhältnismäßig sehr klein sein kann, da sie im Gegensatz zu ihrer sonstigen Verwendung nur kleinere Minutenspitzen aufzunehmen haben, und weil sie im Gegensatz zu den Trommeln von Höchstdruckkesseln aus billigem SM-Flußeisen hergestellt werden können. Da zudem die Speicherfähigkeit von 1 m³ Wasser bei dem für die Ruths-Speicher in Frage kommenden Druckgebiet (15 at) weit größer als bei 50 bis 100 at ist, sind die Anlagekosten für dieselbe Speicherleistung bei einem Ruths-Speicher viel niederer als bei Höchstdruckkesseln.

Bei Bemessung des Wasserraumes oder der Zahl und Durchmesser der Trommeln von Höchstdruckkesseln sollte also auf Belastungsschwankungen keine Rücksicht genommen werden, sondern nur auf ausreichende Zugänglichkeit und auf Erzeugung trocknen Dampfes. Einfügung von Ruths-Speichern im Niederdruckgebiet (15 at) ist stets weit billiger als entsprechende Vergrößerung von Durchmesser und Zahl der Kesseltrommeln.

[1]) Wie mir die Firma Krupp nach meinem Vortrag mitteilte, wird es möglich sein, die Preise der aus Sonderstählen geschmiedeten Trommeln unter die für diese Untersuchung benutzten Werte wesentlich zu senken.

Weitere wesentliche Ersparnisse bietet der Ersatz der Ekonomiser durch Luftvorwärmer. Auch hier sind die spezifischen Baukosten viel kleiner als bei Höchstdruckekonomisern, da sie aus ganz dünnem Blech hergestellt werden können und nicht völlig dicht zu sein brauchen. Bei Kohlenstaubfeuerungen kann man mit der Lufttemperatur auf etwa 2000 °C gehen. Ein Luftvorwärmer kann aber im allgemeinen nur einen Teil des Ekonomisers ersetzen, nämlich ungefähr die Ekonomiserheizfläche, welche einer Wassererwärmung um rd. 70 °C entspricht.

Wirtschaftliche Aussichten von Höchstdruckdampf.

Kleinerem Brennstoffverbrauch bei Höchstdruckdampfwerken stehen größere Anlagekosten und daher höhere Ausgaben für Verzinsung und Abschreibung, u. U. auch für Bedienung und Ausbesserungen gegenüber. Nur wenn die ersparten Kohlenkosten größer als der höhere Kapitaldienst sind, ist Höchstdruckdampf wirtschaftlich überlegen.

Die Frischdampfleitungen kosten bei Höchstdruck etwa dasselbe wie bei den üblichen Dampfspannungen, da der Einfluß der schwereren Ausführung durch den erheblich kleineren Rohrdurchmesser fast ganz ausgeglichen wird. Die Speiseleitungen sind bei 100 at rd. 3 bis 3,5 mal teurer als bei 15 bis 20 at. Die Speisepumpen samt ihrem Antrieb werden mit zunehmendem Kesseldruck teurer, die Mehrkosten sind in die Turbinenkosten eingeschlossen. Der Preis der elektrischen Stromerzeuger bleibt unverändert. Die Kosten für die Kondensation werden kleiner, weil der spezifische Dampfverbrauch und damit die vom Kondensator aufzunehmende Wärmeleitung abnimmt. Der Turbinenpreis wird voraussichtlich etwas höher werden.

Um ganz sicher zu gehen, habe ich auf Grund einer besonderen Rechnung angenommen, daß ein ganzer Turbinensatz, einschließlich Stromerzeuger, Kondensation und Speisepumpe, bei 100 at um 15,0 vH teurer als bei 15 at ist. Für die Zwischendrücke habe ich lineare Zunahme vorausgesetzt.

Auch hier mußte versucht werden, zwei Grenzen zu finden, zwischen denen in den meisten, praktisch vorkommenden Fällen das wirtschaftliche Ergebnis liegen muß. Als Rechnungsbeispiel für die untere wirtschaftliche Grenze habe ich daher ein reines Kraftwerk mit Flußwasserkühlung, d. h. hoher Luftleere, Fall I, gewählt.

Bei Gegendruckbetrieb, dem oberen Grenzfall, entstand insofern eine Schwierigkeit, als bei gleichbleibendem Heizdampfbedarf und Gegendruck die aus diesem Dampf erzielbare Energie verschieden ist, je nachdem, ob der Frischdampfdruck hoch oder niedrig ist. Werden aber nicht Heizdampf- und Energiebedarf für alle Frischdampfdrücke gleich groß angenommen, so fehlt eine Bezugsgrundlage für die Ersparnisse und für einen einwandfreien Vergleich. Für einen bestimmten Gegendruck, z. B. 2 at, habe ich daher dieselbe Heizdampfmenge und denjenigen Energiebedarf zugrunde gelegt, der aus dieser Heizdampfmenge bei Frischdampf von 100 at und 400 °C erzeugt wird. Dies bedingt, daß bei allen Frischdampfdrücken unter 100 at ein Teil der benötigten Kraft in besonderen Kondensationsturbinen gewonnen werden muß, Fall II. Um die sehr verschiedenartigen Verhältnisse von Gegendruckbetrieben zu berücksichtigen, habe ich die Rechnungen für 3 Gegendrücke, 10, 6 und 2 at abs., durchgeführt. In allen Fällen wurden die Kesselanlagen unter entsprechender Festsetzung ihrer Kosten so bemessen, daß ihr Wirkungsgrad 84,5 vH ist, gleichgültig, welche Eintrittstemperatur das Speisewasser hat.

Folgendes Schema kennzeichnet kurz die beiden untersuchten Grenzfälle:

Fall I. Reiner Kraftwerkbetrieb.

Spitzenleistung = 100 000 kW, Frischdampftemperatur = 400 °C.
a) Betrieb ohne Zwischenüberhitzung.
b) Betrieb mit Zwischenüberhitzung (15 at und 350 °C).
c) Betrieb mit Zwischenüberhitzung und Anzapfung.
Untersucht für
2500 und 5000 h Benutzungsdauer bei
12 und 24 M/t Kohlenpreis.

Fall II. Vereinigtes Heiz- und Kraftwerk.

Heizdampfbedarf 100 t/h, Frischdampftemperatur 400 °C.
a) Gegendruck 2 at abs., Kraftbedarf = konst. = 18 400 kW,
b) Gegendruck 6 „ Kraftbedarf = konst. = 13 500 kW,
c) Gegendruck 10 „ Kraftbedarf = konst. = 11 000 kW.
Untersucht für
7200 und 4800 h Benutzungsdauer bei
12 und 24 M/t Kohlenpreis.

Bei Fall I b mußte zunächst berechnet werden, wie sich die Einzelheizflächen und der Preis eines Kesselsatzes dadurch ändern, daß der Auspuffdampf der Hochdruckstufe vor seinem Eintritt in die Niederdruckturbine in besonderen, in die Kessel eingebauten Zwischenüberhitzern nochmals überhitzt werden muß.

Der nun folgende angegebene Wärmeverbrauch gilt einschließlich des Dampf- oder Kraftbedarfes der Kondensationshilfsmaschinen und der Speisepumpen, also für 1 kWh, die an den Klemmen des Stromerzeugers nutzbar zur Verfügung steht. Bei Zwischenüberhitzung wurde angenommen, daß der Dampf in der Hochdruckstufe auf 15 at expandiert, dann wieder auf 350 °C überhitzt wird und mit dieser Temperatur in den Niederdruckteil eintritt.

Der Wärmeverbrauch für 1 kWh nimmt in einem reinen Kraftwerk bei Erhöhung des Frischdampfdruckes von 15 at auf 100 at um rd. 14 vH ab, Abb. 15. Die Ersparnis wäre noch größer, wenn nicht mit zunehmendem Kesseldruck der verhältnismäßige Wärmeverbrauch der Speisepumpe stark wüchse.

Die sehr umständlichen Berechnungen zeigen für reine Kraftwerke (Fall I) folgendes:

1) Bauart und Kosten der verwendeten Kessel haben auf das wirtschaftliche Ergebnis bei allen praktisch vorkommenden Fällen sehr großen Einfluß.

2) Erhöhung der Frischdampfspannung auf 25 bis 35 at empfiehlt sich fast immer, selbst bei ungewöhnlich billigen Kohlen und kleiner Benutzungsdauer.

3) Bei hohen Kohlenkosten, großer Benutzungsdauer und teueren Kesseln sind 70 bis 80 at, bei billigen Kesseln mit sehr

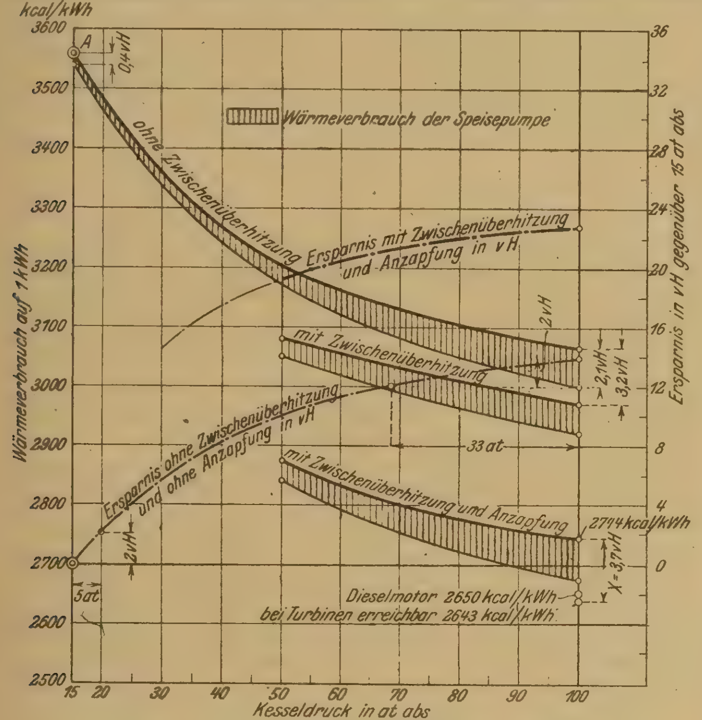


Abb. 15. Zur Erzeugung von 1 kWh aus Kohle erforderliche Wärmemenge einschließlich des Wärmeverbrauches der Kondensations- und der Speisepumpen.

kleinem Wasserraum 90 bis 100 at der günstigste Druck. Die möglichen Ersparnisse an Gesamtbetriebskosten betragen 3,5 bis 7 vH, je nach dem Kesselpreis.

4) Bei hohen Kesselkosten und kleiner Benutzungsdauer liegt der günstigste Druck bei 50 bis 60 at. Die Ersparnisse betragen 0,5 bis 3 vH, je nach dem Kesselpreis. Bei Verwendung von Steilrohrkesseln mit großem Wasserinhalt, deren Trommeln gemäß Fall A bemessen sind, werden jedoch die Erzeugungskosten auf alle Fälle teurer als bei 15 at Dampfspannung und nach den üblichen Regeln bemessenen Kesseln.

5) Bei billigen Kohlen und großer Benutzungsdauer liegt der günstigste Kesseldruck bei 40 bis 60 at, aber auch hier sind mit nach Fall A bemessenen Steilrohrkesseln von großem Wasserinhalt keine Ersparnisse möglich.

6) Sollte sich durch behördliche Verfügung oder freiwilliges Übereinkommen eine Berechnungsart einführen, die bei Kesseltrommeln für hohe Drücke eine nennenswert niederere Beanspruchung als bei Drücken bis zu 25 at vorschreibt, so wären in vielen Fällen Steilrohrkessel mit reichlichem Wasserinhalt im Höchstdruckgebiet nicht wettbewerbfähig.

7) Zuschalten von Ruths-Speichern zu Sektionalkesseln von kleinem Wasserinhalt zur Erzielung einer ausreichenden Unempfindlichkeit gegen Spitzen beeinflußt das wirtschaftliche Ergebnis fast gar nicht. Kessel von sehr kleinem Wasserinhalt in Verbindung mit Ruths-Speichern sind daher, falls sich nicht andere unerwartete Schwierigkeiten ergeben, im Höchstdruckgebiet großräumigen Kesseln wirtschaftlich entschieden überlegen.

8) Durch Zwischenüberhitzung lassen sich die Betriebskosten um weitere 1 bis 3 vH ermäßigen.

Bei Gegendruckbetrieben (Fall II) erhält man folgendes Bild:

1) Bei großer Betriebsdauer und billigen Kesseln mit kleinem Wasserraum lohnt sich eine erhebliche Überschreitung der heute üblichen Drücke stets, und zwar um so mehr, je höher der Gegendruck (Heizdampfdruck). Die durch Steigerung des Dampfdruckes erzielbaren Ersparnisse betragen 10 bis 20 vH je nach der Höhe des Gegendruckes. Auch hier ist der Kesselpreis mit Ausnahme von Werken mit hohem Gegendruck und teuerer Kohle von großem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit.

2) Der wirtschaftlichste Druck liegt bei kleiner Betriebsdauer, billiger Kohle und 2 at Gegendruck bei 60 at, bei 10 at Gegendruck über 10 at. Die Ersparnisse betragen 7 bis 15 vH.

3) Bei hoher Betriebsdauer und teuerer Kohle liegt der wirtschaftlichste Druck bei 100 at oder mehr, die Ersparnisse betragen 11 bis 18 vH.

4) Eine Erhöhung des Frischdampfdruckes von 15 at auf 30 at unter Beibehaltung der heute üblichen Kesselformen und Blechbeanspruchungen lohnt sich auch bei 4800 h Betriebsdauer stets und erspart 5 bis 10 vH.

5) Während bei Fall I Drücke über 40 bis 60 at nur noch unter besonders günstigen Voraussetzungen merkliche Ersparnisse bringen, trifft dies bei Gegendruckbetrieb auch unter mittleren Verhältnissen nicht zu. Bei Gegendrücken über 6 at lohnt sich vielmehr häufig ein wesentlich höherer Frischdampfdruck.

Neue wärmewirtschaftliche Probleme.

Bei hohen Frischdampfdrücken ist Zwischenüberhitzung aus thermischen und betriebstechnischen Gründen erforderlich oder doch zum mindesten vorteilhaft. Sie gilt daher bereits als gewissermaßen selbstverständlich.

Von Amerika ausgehend haben außerdem in letzter Zeit noch einige andere beachtenswerte Verfahren Bedeutung erlangt, die noch ganz kurz erörtert werden sollen.

Bei uns wird der Rankine-Prozeß, bei dem die Expansion adiabatisch, d. h. ohne Wärmezu- oder abfuhr, verläuft, fast allgemein — und gewissermaßen als selbstverständlich — als theoretisch für Dampfkraftmaschinen vorteilhaftester Kreisprozeß angesehen. In Amerika ist der sogenannte Regenerativprozeß seit einigen Jahren Gegenstand der Aufmerksamkeit der Fachwelt. In Deutschland ist er lange Zeit hindurch fast unbeachtet geblieben. Beim Regenerativprozeß wird dem Dampf während der Expansion Wärme entzogen und unter unendlich kleinem Temperaturgefälle in unendlich vielen Stufen an das in die Kessel zurückgespeilte Kondensat übertragen, bis es z. B. Sättigungstemperatur erreicht hat.

Der theoretische thermische Wirkungsgrad ist besonders bei hohen Anfangsdrücken bei einem Regenerativprozeß viel höher als beim Rankine-Prozeß. Die theoretische Überlegenheit ist so groß, daß der Regenerativprozeß eingehende praktische Beachtung verdient. Praktisch wird er durchgeführt, indem man das Kondensat mit an mehrere Stellen der Turbine abgezapftem Dampf in hintereinandergeschalteten Wärmeaustauschern stufenweise erhitzt[1]).

In Abb. 15 ist für mehrfache Anzapfung ausgerechnet, wie groß bei einmaliger Zwischenüberhitzung der Wärmeverbrauch für 1 kWh einschließlich des Kraftbedarfs der Speisepumpen und der Kondensations-Hilfsmaschinen und einschließlich der Verluste im Kessel wird. Die Größe der Ersparnisse ist, wenn sie sich einigermaßen voll verwirklichen lassen sollte, jedenfalls so beträchtlich, daß die Aussichten von Höchstdruckdampf bei gleichzeitiger Anwendung des Regenerativverfahrens in reinen Kraftwerken weit günstiger sind, als im vorigen Abschnitt angegeben ist. Es wird zweiffellos möglich sein, mit Höchstdruckturbinen für 60 bis 100 at und 400 °C Frischdampftemperatur, die mit Zwischenüberhitzung und Anzapfung ausgestattet sind und deren Kessel Kohlenstaubfeuerungen und Luftvorwärmer haben, einen Wärmeverbrauch, gemessen an der Kohle, von rd. 2600 kcal kWh, d. h. die Wärmeausnutzung von Dieselmaschinen zu erreichen.

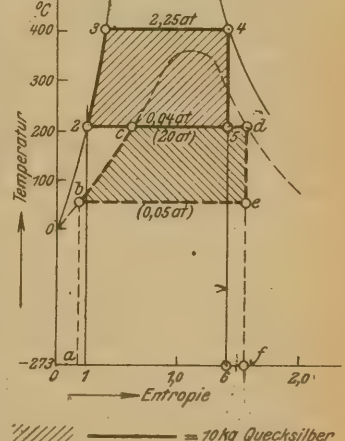


Abb. 16. Kreisprozeß im Entropiediagramm.

Die neueste Entwicklung im Bau reiner Kraftwerke ist somit gekennzeichnet durch die Anwendung von Drücken von 50 bis 100 at, Dampftemperaturen von 400 bis 425 ° C, Kesseln mit kleinem Wasserraum, Zwischenüberhitzung, Vorwärmen des Speisewassers durch abgezapften Dampf, Ruths-Wärmespeichern im Niederdruckgebiet, Kohlenstaubfeuerungen und Luftvorwärmern. Freilich wird es noch vieler Arbeit bedürfen, bis Höchstdruckdampfmaschinen den für Großbetriebe erforderlichen Grad von Einfachheit und Zuverlässigkeit erreicht haben. Grundsätzliche Schwierigkeiten bestehen aber, soweit man zur Zeit überblicken kann, nicht mehr.

Die thermischen Vorteile hoher Anfangstemperaturen ohne den Nachteil der sehr hohen Anfangsdrücke sucht Emmet dadurch zu erreichen, daß er im Bereich hoher Temperaturen einen Körper in den Prozeß einführt, dessen Dampfdruck bei sehr hohen Temperaturen weit niedriger als bei Wasserdampf ist, nämlich das Quecksilber[2]). Beim Verfahren von Emmet beheizen die Feuergase zuerst einen mit Quecksilber gefüllten

[1]) Vergl. Noack: Hochdruck und Hochüberhitzung, Z. Bd. 67 (1923) S. 1153.
[2]) Power 1923 S. 876 u. 891.

Kessel und erzeugen gesättigten Hg-Dampf von rd. 3,15 at abs. und 425 °C. Er leistet in einer einstufigen Turbine Arbeit und wird unter einem Druck von rd. 0,035 at, entsprechend einer Sättigungstemperatur von rd. 204 °C, niedergeschlagen. Als Kühlmittel dient Wasser, das verdampft wird und nun in bekannter Weise in einer besondern Turbine Arbeit verrichtet. Abb. 16 zeigt den ungefähren Verlauf des theoretischen Kreisprozesses im Entropiediagramm. Der thermische Wirkungsgrad des kombinierten Verfahrens soll um etwa 37 vH höher als bei einer mit Wasserdampf von 24,5 at und 370 °C arbeitenden Anlage sein.

Eine Zweistoffturbine dieser Art ist im Dutch Point-Kraftwerk der Hartford Electric Co. seit längerer Zeit im Betriebe.

Schluß.

Auf Gund der obigen Ausführungen wird man den Eindruck gewonnen haben, daß der Kampf um die wirtschaftlichste Kraftmaschine äußerst erbittert sein wird, und daß wir dabei aller Tatkraft und eines ungewöhnlichen Maßes von Fleiß, Umsicht, Wissen und Können bedürfen werden.

Infolge der schwierigen wirtschaftlichen und politischen Lage Deutschlands wird es wichtig, daß sich weitblickende Besitzer oder Leiter von Wärmekraftwerken finden, die durch Bestellung von Höchstdruckanlagen den Boden bereiten helfen, auf dem der technische Fortschritt allein gedeihen kann. Aufträge auf Höchstdruckmaschinen sind Pionierarbeit im besten Sinne des Wortes.

Ferner werden Erbauer und Verbraucher von Maschinen in Zukunft noch viel enger als bisher zusammenarbeiten und sich weit mehr mit dem Gedanken vertraut machen müssen, daß die Zweige der Wirtschaft eines Volkes Glieder desselben Körpers sind, der um so stärker und gesunder wird, je mehr seine Glieder einander unterstützen und helfen.

Amerika hat bereits den Weg des Großversuchs beschritten, ohne den die Lösung nicht gefunden werden kann. In Deutschland wird eine Maschinenfabrik allein aber schwerlich das Wagnis tragen können. Vielmehr wird hieran auch der Besteller teilnehmen müssen.

Finden sich aber Hersteller und Verbraucher zu einem verständigen Zusammenarbeiten zusammen, so ist nicht daran zu zweifeln, daß Höchstdruckdampfanlagen bald Wirklichkeit und unserer gesamten Volkswirtschaft zum Segen und Vorteil geraten werden. [A 71]

Tetrachlorkohlenstoff als Feuerlöschmittel.

Im Jahresbericht der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik für das Jahr 1922 über „Unfallverhütung" findet sich ein Hinweis auf Handfeuerlöscher, die bei Bränden in elektrischen Betriebsräumen benutzt werden können. Danach scheint den Trockenfeuerlöschern mutmaßlich auf Grund von Versuchen der Vorzug gegeben werden zu sollen. Zweifellos haben diesen Versuchen besonders scharfe, theoretisch ermittelte Bedingungen als Grundlage gedient. Sie haben aber zu Ergebnissen geführt, die mit den Erfahrungen der Praxis nicht immer ganz übereinstimmen, und zwar schon deshalb nicht, weil im allgemeinen die Spritzweite mehr als 50 cm betragen dürfte und vielfach bei der Auswahl des Löschmittels besonders auch dessen Einwirkung auf feine Apparaturen zu beachten ist. Unter Berücksichtigung dieser beiden praktischen Umstände sollen die Erfahrungen mit Handfeuerlöschern im elektrischen Betriebe wiedergegeben werden.

Die Frage, ob und wie weit das Anspritzen von Starkstromleitungen und unter Hochspannung stehenden Teilen mit reinem Wasser oder mit einer Löschflüssigkeit, die aus mit doppelkohlensaurem Natron gesättigtem Wasser besteht, für den Löschenden mit Gefahr verbunden ist, veranlaßte 1920 den Elektrotechnischen Verein des Rheinisch-Westfälischen Industriebezirkes, Versuche anzustellen. Als Versuchsgegenstand wurden drei Hochspannungsleitungen von 5000 V benutzt. An der einen war eine Blechtafel befestigt, während an einer andern ein Hörnerblitzableiter eingebaut war. Zum Anspritzen dieser Freileitungen war das Strahlrohr eines Spritzenschlauches isoliert aufgestellt und über einen Weston-Spannungsmesser mit der Erde verbunden.

Bei dem gegen die Leitungen, die Blechtafel und den Hörnerblitzableiter gerichteten Wasserstrahl zeigte sich bei etwa 4 m Entfernung nicht der geringste Stromübergang. Sodann wurde der eine Pol des Spannungsmessers mittels einer Isolierstange an den Spritzenstrahl und langsam an den spannungsführenden Teil herangeführt. Bei etwa 20 cm Entfernung von diesem war ein Ausschlag von etwa 80 V festzustellen. Ähnliche Ergebnisse hatten Anspritzversuche an den einer 100 000 V-Leitung in Berlin durch die Berliner Feuerwehr[1]). Danach ist, wenigstens bei Abständen von 4 m und mehr, ein Anspritzen von Hochspannungsleitungen wohl möglich, ohne den Strahlrohrführer zu gefährden. In erhöhtem Maße trifft dies auf den dünneren Strahl eines Naßfeuerlöschers zu, d. h. auf die mit Wasser und doppelkohlensaurem Natron sowie insbesondere die mit Tetrachlorkohlenstoff betriebenen Geräte.

Über praktische Prüfungen der Tetrachlorkohlenstoff-Löscher bei Starkstromleitungen liegen mehrere Gutachten vor, wie der technischen Staatslehranstalten zu Hamburg (vom 4. 5. 1923), der Material-Prüfungsanstalt des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins zu Zürich (vom 20. 6. 1923) u. a. m. Alle diese Versuche haben ergeben, daß die Löschflüssigkeit dieser Löscher praktisch nichtleitend ist und ohne Schaden auf Brandstellen gerichtet werden kann, die unter höchster Spannung (bis 250 000 V) stehen. Auch eine narkotisierende Wirkung des Löschmittels ist nach dem Gutachten des Ausschusses des Reichsvereins Deutscher Feuerwehringenieure[2]) nicht zu erwarten.

Tetrachlorkohlenstoff findet in der Praxis bereits in ausgedehntem Maße zu bestimmten Feuerlöschzwecken Verwendung, ohne daß bisher — wenigstens in Deutschland — etwas über ernste Gesundheitsschädigungen bekannt geworden ist. Der Grund hierfür liegt darin, daß die bei etwaiger Zersetzung des Tetrachlorkohlenstoffes sich entwickelnden Gase (Salzsäure) in der Regel ausreichen werden, den Löschenden zu warnen. Gefährlich ist dagegen die Verwendung von Trichloräthylen.

[1]) Maeder, „Feuerschutz" 1923 Nr. 5.
[2]) „Feuerschutz" 1923 Nr. 2.

Die Tetrachlorkohlenstoff-Löscher sind selbstverständlich als Sonderlöscher anzusprechen, die ausschließlich für gewisse Brände (Benzin, Benzol, Petroleum, Schweröle, Schwefelkohlenstoff, Handelskarbid, Naphthalin, Stark- und Schwachstromanlagen), die mit gewöhnlichen Mitteln schwer oder gar nicht zu löschen sind, Verwendung finden sollen. Die Löschflüssigkeit des Tetralöschers hinterläßt keinerlei Rückstände, was für wertvolle Einrichtungen sehr wesentlich ist, und verdunstet schnell unter großer Kälteentwicklung. Sie ist auch außerordentlich frostbeständig. Die Reichspostverwaltung hat daher nach eingehenden Versuchen für ihre Fernsprechämter Tetrachlorkohlenstoff als geeignetes Löschmittel gewählt.

Für die Verwendbarkeit des Tetrachlorkohlenstoffes bei Bränden an Starkstromanlagen sprechen sich ferner die Mitteilungen der AEG Bd. 19 (1923) Nr. 9 S. 289 u. f. aus. Hier wird gesagt, daß bis etwa vor zwei Jahren in den Prüffeldern der AEG-Fabriken Trockenfeuerlöscher mit Preßgas als Treibmittel benutzt wurden. In vielen Fällen war ihre Löschwirkung recht gut, sie zeigten aber doch schwerwiegende Nachteile. So war trotz sorgfältiger Aufsicht vielfach das Preßgas entwichen und damit die Löscher im Ernstfalle wirkungslos. Ein weiterer Nachteil ergab sich aus dem in großem Umkreis herausgeschleuderten Löschpulver, das in die zwecks Temperaturmessung geöffneten Lager gedrungen war, die zeitraubende Reinigungsarbeiten erforderten.

Diese Gründe veranlaßten, Tetrachlorkohlenstoff als Löschmittel zu nehmen. Dies wurde seit 1921 in mehr als 30 Brandfällen erprobt, z. B. auch bei gekapselten Motoren. Nur in einem Falle zeigte sich als Beeinträchtigung der Gesundheit Hustenreiz, der jedoch nach einer halben Stunde ohne jede Nachwirkung verschwunden war.

Während beim Trockenfeuerlöscher der Bedienende möglichst nahe an den Brandherd herantreten muß, um die den Geräten entströmende Staubwolke auf den Brandherd zu richten, gestattet der Tetralöscher infolge seiner großen Spritzweite ein zielsicheres Löschen schon in 8 bis 10 m Entfernung. Schließlich sei noch auf einen bemerkenswerten Fall aus der Praxis verwiesen: In dem Elektrizitätswerk Münster bei Cannstadt entstand in einem der großen Stromerzeuger ein Brand. Bis es gelungen war, das Gehäuse zu öffnen, stand die Isolierung auf der Innenseite vollkommen in Flammen. Obschon sofort, nachdem der Durchschlag bemerkt war, die Antriebmaschine abgestellt wurde, lief der Stromerzeuger doch noch 20 Minuten. Die Löschversuche mit Trockenfeuerlöschern waren erfolglos, da das Pulver sofort vom Brandherd wieder fortgeschleudert wurde. Die inzwischen herbeigerufene Feuerwehr löschte den Brand mit einem Tetraapparat bis auf einige kleine Stellen sofort. Letztere wurden, nachdem das Gehäuse entfernt war, restlos mit einem weiteren Tetraapparat gelöscht.

Wie die Praxis gezeigt hat, ist also der Tetrachlorkohlenstoff ein wertvolles Feuerlöschmittel für Sonderfälle, insbesondere auch für Brände in elektrischen Betrieben; seine Vorteile übertreffen zweifellos die ihm anhaftenden Mängel. [M 81]

Berlin-Grunewald. Oberregierungsrat Dr. Schall.

Berichtigung.

Leistungsversuche an einer Gegendruckturbine der Ersten Brünner Maschinenfabrik-Gesellschaft in der Nestomitzer Zuckerraffinerie in Nestomitz a. E.

In der Inhaltsangabe dieses in Z. Bd. 67 (1923) S. 1163 abgedruckten Aufsatzes bezieht sich der Gütegrad von 85 vH auf das innere Gefälle, wie auf S. 1164 bemerkt ist, und nicht etwa auf die Leistung in der Kupplung. [M 50] A. Stodola. E. Josse.

Das Gegendruckverfahren und seine Anwendung bei der Dampfturbine.

I. Teil: Wärmetechnische Grundlagen.

Von G. Zerkowitz, München.

Es werden allgemeine Formeln entwickelt, die eine Bewertung von Gegendruck- und Entnahmemaschinen, besonders von Dampfturbinen, ermöglichen. Der Einfluß des Gegendruckes und des Anfangsdruckes wird untersucht, wobei der Wert der Hochdruckbestrebungen hervorgehoben wird. Weiterhin wird die Gegendruckanlage in Verbindung mit einem Ruths-Speicher vom Standpunkt der Thermodynamik betrachtet. Den Schluß bilden allgemeine Bemerkungen über die Wärmeausnutzung bei der Dampfkraftmaschine.

Man mag die Dampfkraftmaschine als Kolben- oder als Turbomaschine ausführen, sie steht, solange der Anfangsdruck des Dampfes nicht 40 at oder mehr beträgt, hinsichtlich ihres Wirkungsgrades der Verbrennungsmaschine nach. Durch Verbindung der Krafterzeugung mit einer Wärmeversorgung läßt sich jedoch bekanntlich die Wirtschaftlichkeit der Dampfanlage bedeutend erhöhen. Die in diesem Zusammenhang vielfach benützte Bezeichnung „Abdampfverwertungsanlage" ist mit Rücksicht auf den Zweck einer solchen Anlage nicht zutreffend. Richtiger ist es, von einer Heizungskraft- oder von einer Gegendruckanlage zu sprechen. Das Wort „Gegendruckmaschine" im weiteren Sinne umfaßt auch die sogenannte Entnahme- oder Anzapfmaschine; denn es ist grundsätzlich gleichgültig, ob sich das Gegendruckverfahren, d. h. die Schaltung einer Kraftstufe vor die Heizanlage, auf den ganzen oder nur auf einen Teil des Dampfes bezieht, der der Maschine zugeführt wird. Den hier durchgeführten Betrachtungen ist vor allem die Dampfturbine zugrundegelegt; doch läßt sich manches Ergebnis mit geringfügigen Änderungen auch auf die Kolbenmaschine übertragen. Der Unterschied zwischen den beiden Maschinengattungen ist vor allem der, daß bei der Turbine die mechanischen Verluste eine nur untergeordnete Rolle spielen, während bei der Kolbenmaschine die Wärmeverluste, besonders im Hochdruckteil, geringer ausfallen. Neuerdings ist man im Dampfturbinenbau mit Erfolg bestrebt, den Gütegrad des Hochdruckteils zu verbessern; hiermit Hand in Hand gehen Bestrebungen, den Anfangsdruck zu erhöhen. Sieht man von den Verlusten ganz ab, so ist es natürlich gleichgültig, ob man eine Kolbenmaschine oder eine Turbine heranzieht.

Das Gegendruckverfahren im engeren Sinne.

Wird einer Heizanlage (oder Koch-, Trockenanlage und dergl.) eine Dampfturbine vorgeschaltet, wobei die ganze zur Arbeitsleistung herangezogene Dampfmenge für die Zwecke der Heizung nutzbar gemacht werden kann, so treten — wenn man die Verluste im Kessel außer Betracht läßt — im wesentlichen nur geringfügige mechanische und Strahlungsverluste auf. Von diesen abgesehen, wird die ganze der Maschine zugeführte Wärmemenge verwertet, und zwar teils als Arbeit, teils als Heizwärme. So betrachtet, ist es nicht nur gleichgültig, wie hoch der Heizdruck gewählt wird, es kommt auch nicht darauf an, mit welchem Gütegrad die Maschine arbeitet. Für 1 kg Dampf vom ursprünglichen W. I. (Wärmeinhalt) i_1 werden $i_1 - i_2$ kcal/kg in Arbeit umgesetzt und i_2 kcal/kg für die Heizung verwertet. Daraus wird mitunter gefolgert, daß der „Wärmeverbrauch" dieser Maschine auch nur $i_1 - i_2$ beträgt, so daß unter Berücksichtigung der erwähnten geringfügigen Verluste ein Gütegrad von nahezu 100 vH errechnet wird. Diese Bewertungsart liefert jedoch keinen tieferen Einblick in das Wesen des Gegendruckverfahrens. Wählt man z. B. $i_1 = 720$, während für einen Fall $i_2 = 670$, für einen zweiten Fall $i_2 = 680$ angenommen wird (vgl. Abb. 1), so entspricht im ersten Fall die Arbeit 50, im zweiten Fall 40 kcal/kg. Während nun die Arbeit im ersten Fall um 25 vH größer als im zweiten ist, ist bei diesem die verfügbare Heizwärme nur um 1,5 vH größer. Schon daraus erhellt, daß die beiden Fälle wärmetechnisch nicht gleichwertig sein können. Man braucht sich übrigens nur den Inhalt des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie zu vergegenwärtigen, um einzusehen, daß eine solche Bewertung das Wesen des Gegendruckverfahrens nicht ins rechte Licht rückt. Vielfach wird daher ein anderer Weg eingeschlagen: Man vergleicht das Gegendruckverfahren mit einer Anlage, bei der Kraft- und Wärmeversorgung getrennt erfolgen, und ermittelt den Unterschied im Wärmeverbrauch, die sogenannte Ersparnis. In verschiedenen Abhandlungen ist versucht worden, allgemeine Formeln für die Größe dieser Ersparnis aufzustellen[1]).

Der hier durchgeführten Untersuchung liegen hauptsächlich folgende Gesichtspunkte zugrunde:

1. Die Hauptgleichungen werden nicht auf die Leistungseinheit, sondern auf eine bestimmte Dampfmenge bezogen. Bei einer Gegendruckanlage muß man in Wirklichkeit davon ausgehen, daß eine gewisse Menge Heiz- oder Fabrikationsdampf verlangt wird. Die Rechnungen, die sich auf die Leistungseinheit beziehen, lassen, wie nachstehend gezeigt wird, die Zusammenhänge nicht klar erkennen.

2. Es kommt, und zwar besonders auch für Heizzwecke, nicht auf die nötige Wärmemenge allein an, vielmehr auf den Zustand, also auf den Druck und die Temperatur des Heizdampfes. Heizdampf von 5 at abs. ist etwas ganz anderes als solcher von 2 at abs. oder gar von 0,3 at abs. Daher wird in die Rechnungen niemals die „Heizwärmemenge" eingeführt.

3. Die Formeln, die eine Bewertung ermöglichen, dürfen nicht mit Wirkungs- oder Gütegraden überladen werden. Man will ja vor allem Aufschluß über den Einfluß der maßgebenden Größen, wie Höhe des Zwischendampfdruckes, des Gegendruckes und dergl., erhalten. Dieses Ziel wird besser dadurch erreicht, daß man vorerst von nebensächlicheren Einflüssen absieht und sie gegebenenfalls nachträglich berücksichtigt.

Es sei p_1 der Frischdampfdruck, p_2 der Heizdampfdruck; für Heizzwecke werde stündlich die Dampfmenge G_g vom Druck p_2 und dem W. I. i_2 benötigt (Punkt A_2 in Abb. 2). Mittels dieser Dampfmenge wird in der Gegendruckmaschine eine stündliche Arbeit (in kcal) erzeugt:

$$\mathfrak{A}_g = G_g (i_1 - i_2) = G_g (i_1 - i_2') \eta_g \quad \ldots \ldots (1),$$

worin η_g den inneren Gütegrad der Gegendruckmaschine bedeutet. Hiervon gehen noch die mechanischen Verluste ab, die zunächst nicht berücksichtigt werden mögen. Beim getrennten Betrieb sei die Heizdampfmenge G_g vom W. I. i_2 etwa mittels eines besonderen Kessels erzeugt worden; der darin herrschende Druck ist mindestens gleich p_2. Für Kraftzwecke wird hierbei eine Dampfmenge G_k vom Druck p_1 und dem W. I. i_1 geliefert, p_k sei der Kondensatordruck. Die in der besonderen Kondensationsturbine erzeugte Arbeit beträgt in der Stunde:

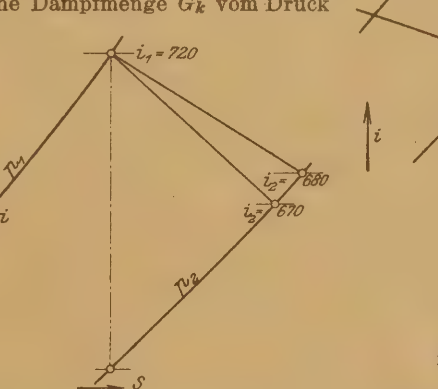


Abb. 1. Gegendruckverfahren bei verschiedenem End-Wärmeinhalt.

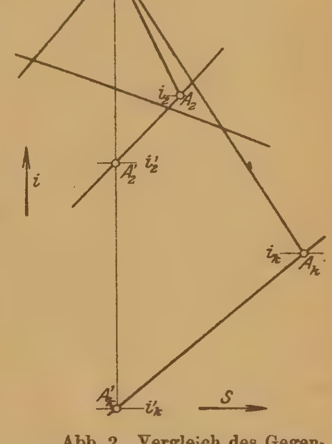


Abb. 2. Vergleich des Gegendruckverfahrens mit dem getrennten Betrieb.

$$\mathfrak{A}_k = G_k (i_1 - i_k) = G_k (i_1 - i_k') \eta_k \quad \ldots \ldots (2),$$

wobei η_k den Gütegrad dieser Turbine bedeutet.

Es muß nun $\mathfrak{A}_g = \mathfrak{A}_k$ sein, woraus sich

$$G_k = G_g \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_k} \quad \ldots \ldots (3)$$

ergibt. Der stündliche Wärmebedarf beträgt nun für den getrennten Betrieb

$$W_I = G_g i_2 + G_k i_1 \quad \ldots \ldots (4),$$

dagegen für den Gegendruckbetrieb

$$W_{II} = G_g i_1 \quad \ldots \ldots (5).$$

Die Ersparnis ist

$$E = W_I - W_{II} \quad \ldots \ldots (6)$$

oder aus (4) und (5) unter Berücksichtigung von (3)

$$E = G_g \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_k} i_k = G_g \frac{(i_1 - i_2') \eta_g}{(i_1 - i_k') \eta_k} i_k \quad \ldots \ldots (7)$$

oder auch

$$E = \mathfrak{A}_g \frac{i_k}{i_1 - i_k} \quad \ldots \ldots (7a).$$

Die auf die Arbeitseinheit bezogene Ersparnis $\mathfrak{E}$ ergibt sich daraus zu

$$\mathfrak{E} = \frac{E}{\mathfrak{A}_g} = \frac{i_k}{i_1 - i_k} \quad \ldots \ldots (8),$$

oder wenn man mit N_g die Gegendruckleistung in kW bezeichnet:

$$\mathfrak{E}^{kW} = \frac{E}{N_g} = \frac{860\, i_k}{i_1 - i_k} \quad \ldots \ldots (8a).$$

[1]) Reutlinger, Die Zwischendampfverwertung, Berlin 1912; Gramberg, Maschinenuntersuchungen, Berlin 1921; Pauer, Sammelheft „Zur Entwicklung der industriellen Wärmewirtschaft", Berlin 1922.

Diese Formel hat schon Pauer (a. a. O.) aufgestellt; wenn auch darin keine Größe enthalten ist, die von der Höhe des Gegendruckes abhängt, so darf daraus noch nicht der Schluß gezogen werden, daß die Ersparnis unabhängig von der Höhe des Gegendruckes ist. Hierfür ist nicht $\mathfrak{E}$, sondern E, also die auf die Gegendruck- oder Heißdampfmenge bezogene Ersparnis, maßgebend. Wie aus (7) hervorgeht, nimmt die Ersparnis und damit der Wert des Gegendruckverfahrens vor allem mit dem Wärmegefälle und mit dem Gütegrad der Maschine zu. Es besteht also durchaus Veranlassung, i_2 durch Wahl niedrigen Heizdampfdruckes[1]) so klein wie möglich zu halten, sowie für einen günstigen Gütegrad zu sorgen. Auch wenn man die Betrachtungen auf die verlustlose Maschine bezieht, kommt der Einfluß des Gegendruckes zur Geltung, wie die Hauptgleichung (7) lehrt. In Wirklichkeit kann freilich für einen bestimmten Betrieb der Leistungsbedarf im Verhältnis zur Heizwärme gering sein; hier kann eine weniger gute Gegendruckmaschine oder eine Erhöhung des Gegendruckes am Platze sein. Vom allgemeinen wärmetechnischen Standpunkt ist eine solche Maßnahme jedoch nicht zu begrüßen. Sie erfüllt zwar privatwirtschaftlich, nämlich für den betreffenden Einzelbetrieb, ihren Zweck, volkswirtschaftlich stellt sie aber eine ungünstige Ausnützung der Brennstoffwärme dar. Nicht selten tritt übrigens der umgekehrte Fall ein, daß die Leistung gegenüber dem Bedarf an Heizdampf groß ist. Dabei kann man die Gegendruckmaschine mit anderen Maschinen, z. B. normalen Kondensationsmaschinen, parallel arbeiten lassen, wobei die Gegendruckmaschine nur die Leistung abgibt, die mit der Heizdampfmenge gerade erreicht werden kann. Hier kommt die Erhöhung der Gegendruckleistung besonders zur Geltung. Der Zusammenhang sei an Hand eines Zahlenbeispiels erläutert. Für eine Heizkraftanlage stehen 10 000 kg/h Dampf von 20 at abs. und 300° zur Verfügung. Es werde nun der Heizdampfdruck zu 4 bzw. 6 at abs. angenommen. Mit einem Gütegrad $\eta_g = 0{,}65$ errechnen sich

Gegendruck p_2	at abs.	6	4
verfügbares Gefälle $i_1 - i_2'$ . . .	kcal/kg	63	81
innere Gegendruckleistung . .	PS	650	830
Ersparnis E	kcal/h	$155{,}10^4$	$198{,}10^4$

Durch Erniedrigung des Gegendruckes von 6 auf 4 at abs. steigt die Ersparnis um 430 000 kcal/h, also um etwa 28 vH. Allerdings kann sie sich nur auswirken, wenn die 830 PS_i, entsprechend etwa 810 PS_{eff}, an Ort und Stelle verwendet oder an fremde Bezieher ganz oder zum Teil abgegeben werden können. Ob und wie dies zu verwirklichen ist, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden[2]).

Die größtmögliche Ersparnis E_{max} würde sich ergeben, wenn man den Heizdruck p_2 gleich p_k machen könnte; man wird sich diesem Fall nähern, wenn man in der Lage ist, mit Vakuumdampf zu heizen. Es ergibt sich aus (7)

$$E_{max} = G_g\, i_k.$$

Eine einheitliche Bewertung des Gegendruckverfahrens auf der Grundlage, daß man ein für allemal einen bestimmten Heizdampfdruck oder eine bestimmte Heiztemperatur festsetzt, ist nicht möglich, da die Wahl dieser Größen wesentlich vom Verwendungszweck des Heizdampfes abhängt[3]). In vielen Fällen gibt man zweckmäßig die Ersparnis in Hundertteilen der aufgewendeten Wärme an, wodurch man die „spezifische" Ersparnis erhält:

$$\varepsilon = \frac{E}{W_{II}} = \frac{i_1 - i_2\, i_k}{i_1 - i_k\, i_1} \quad . . . . (9).$$

Dies gilt besonders dann, wenn man den Einfluß verschiedener Anfangsdrücke des Dampfes untersuchen will. Eine weitere Verhältniszahl, die einen Vergleich zwischen Gegendruck- und getrenntem Betrieb ermöglicht, ist

$$\lambda = \frac{W_{II}}{W_I} = \frac{i_1^2 - i_1\, i_k}{i_1^2 - i_2\, i_k} \quad . . . . (10).$$

Zwischen λ und ε besteht übrigens die Beziehung

$$\lambda = \frac{1}{1+\varepsilon}.$$

Die Bedeutung der Erhöhung des Anfangsdruckes sei an Hand eines Beispiels erörtert, wobei wir annehmen, daß $G_g = 10\,000$ kg/h von $p_2 = 4$ at abs. benötigt werden, während der Anfangsdruck einmal 20 at abs., das andere Mal 40 at abs. sei. Die Anfangstemperaturen sind in beiden Fällen derart angenommen, daß sich mit $\eta_g = 0{,}65$ der gleiche Wert für i_2, also der gleiche Heizdampfzustand ergibt.

		Fall I	Fall II	Zunahme bei Fall II gegenüber I in vH
Dampfdruck p_2	at abs.	20	40	—
Dampftemperatur	°C	290	350	—
Innere Arbeit $\mathfrak{A}_g$	kcal/h	514 000	750 000	46
Ind. Leistung	PS	812	1 180	46
Thermischer Wirkungsgrad	η_t	0,0716	0,1015	42
Ersparnis E	kcal/h	1 940 000	2 480 000	28
ε		0,27	0,335	24

Der Vergleich der beiden Fälle ist besonders lehrreich; man ersieht daraus, daß die Leistung durch die Druckerhöhung um 46 vH, der thermische Wirkungsgrad η_t der Gegendruckmaschine, bezogen auf die innere Leistung, ohne Rücksicht auf die Heizung, also unter Preisgabe der Heizwärme, um 42 vH erhöht wird. Für eine Kondensationsturbine würde, wie man sich leicht überzeugen kann, der thermische Wirkungsgrad durch die gleiche Druckerhöhung nur um 10 vH erhöht werden. Daraus ersieht man schon die Bedeutung der Wahl hoher Anfangsdrücke für das Gegendruckverfahren. Die Ersparnis E wächst um 28 vH; da aber auch der Wärmeaufwand größer wird, so ist die auf den Wärmeaufwand bezogene Ersparnis ε, die um 24 vH wächst, als maßgebend anzusehen. Auf den Wert der Erhöhung der Anfangsdrücke hat schon L. Schneider[4]) hingewiesen. In neuerer Zeit hat O. A. Hartmann[5]) in seinen Arbeiten die Bedeutung des Hochdruckdampfes für den Gegendruckbetrieb hervorgehoben.

Es sei nur noch der Fall untersucht, daß ein Teil des Gegendruckdampfes, der der Leistung entsprechend die Maschine verläßt, für Heizzwecke nicht ausgenützt werden kann. Wir wollen dies als „unvollkommenes Gegendruckverfahren" bezeichnen. Es mögen von den G_g kg/h Dampf, die für die Krafterzeugung benötigt werden, nur $\varphi\, G_g$ für Heizzwecke verwendet werden können. Dann ist

$$W_I = \varphi\, G_g\, i_2 + G_k\, i_1$$

$$W_2 = G_g\, i_1 .$$

Nach einfacher Umrechnung erhält man daraus eine Ersparnis E', wofür die Beziehung

$$E' = G_g \frac{(i_1 - i_2)\, i_k}{i_1 - i_k} - (1-\varphi)\, G_k\, i_2 = E - (1-\varphi)\, G_g\, i_2 \quad . \ (11)$$

gilt. Statt (11) kann man auch schreiben:

$$E' = E - R_u \quad . . . . . . (11a),$$

wobei wir unter R_u das Restglied infolge des „unvollkommenen" Gegendruckbetriebes verstehen wollen. R_u kann unter Umständen größer als E werden, d. h. der Gegendruckbetrieb kann unwirtschaftlicher sein als der getrennte Betrieb. Der Grenzfall ergibt sich für

$$\varphi = \varphi_0 = \frac{i_1\,(i_2 - i_k)}{i_2\,(i_1 - i_k)}.$$

Hierfür wird $E' = 0$; eine Ersparnis wird also nur dann erreicht, wenn $\varphi > \varphi_0$ ist. In Wirklichkeit wird man, wenn dieser Fall häufig eintritt, entweder die Gegendruckturbine mit einer gewöhnlichen Kondensationsturbine parallel (verbundene Gegendruckturbine) schalten oder eine Entnahmeturbine aufstellen.

Das erweiterte Gegendruck- oder Entnahmeverfahren.

Abb. 3 stellt einen schematischen Schnitt durch eine Entnahme- oder Anzapfturbine dar. Grundsätzlich besteht gegenüber der normalen Kondensationsturbine der Unterschied, daß Hoch- und Niederdruckteil getrennt sind. Durch ein Überströmorgan wird nur derjenige Dampf (G_c) aus dem Hochdruckteil in den Niederdruckteil geleitet, der für Heizzwecke nicht benötigt wird. Für die richtige Arbeitsweise muß außer dem Geschwindigkeitsregler noch ein Druckregler Sorge tragen, auf deren Zusammenbau hier nicht eingegangen werden soll. Wenn man über den Dampfverbrauch einer Entnahmemaschine für eine gegebene Leistung, aber veränderte Entnahmemenge einen ungefähren Anhalt gewinnen will, so kann man bekanntlich ein einfaches Schaubild entwerfen, Abb. 4. Eine bestimmte „innere"

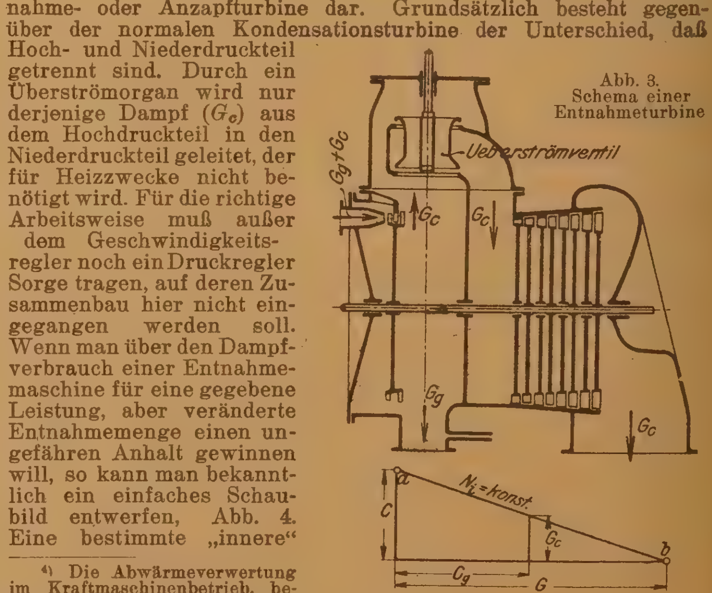


Abb. 3. Schema einer Entnahmeturbine

Abb. 4. Dampfverbräuche einer Entnahmeturbine bei gleichbleibender Leistung.

[1]) Vgl. auch Forner, Fortschritte in der Entwicklung der Wärmewirtschaft, Verlag des V. d. I. 1923.

[2]) Vgl. hierüber Gerbel, Kraft- und Wärmewirtschaft in der Industrie, Berlin 1920.

[3]) Schreber (Dinglers polytechnisches Journal 1922 S. 51, sowie Brennstoff- und Wärmewirtschaft 1922 S. 9) hat eine Bewertungsart vorgeschlagen, bei der er sich die erzeugte Arbeit durch Vermittlung einer Kältemaschine virtuell in Heizwärme umgesetzt denkt. In seinen Beispielen nimmt er durchweg eine Heiztemperatur von 50 °C an. Seine „Bewertungszahl" berücksichtigt zwar den Unterschied zwischen Arbeits- und Heizwärme, doch läßt sie den eigentlichen Sinn des Gegendruckverfahrens weniger klar erkennen als die „Ersparnis".

[4]) Die Abwärmeverwertung im Kraftmaschinenbetrieb, bereits in der 2. Auflage, 1912.

[5]) Hochdruckdampf bis zu 60 at abs. in der Kraft- und Wärmewirtschaft, Z. Bd. 65 (1921) S. 663 u. f.

Leistung N_i oder $\mathfrak{A}_i$ kann man erreichen: 1. bei reinem Kondensationsbetrieb mit der Dampfmenge C oder 2. bei reinem Gegendruckbetrieb mit der Dampfmenge G (wobei der Niederdruckteil leer mitläuft) oder 3. bei Entnahmebetrieb mit der Gegendruckdampfmenge G_g und der Dampfmenge G_c. Die verschiedenen Wertpaare G_g, G_c liegen ungefähr auf einer Geraden $a\,b$. Das Geradliniengesetz ist streng richtig für verlustfreies Arbeiten, sonst nur dann, wenn die Gütegrade in Hoch- und Niederdruckteil für eine bestimmte Belastung unveränderlich, also unabhängig von der Entnahmemenge bleiben. Hierfür gilt nämlich (vgl. Abb. 5):

$$\mathfrak{A}_i = 632\,N_i = CH = GH_1 = (G_g + G_c)\,H_1 + G_c\,H_2 \quad \ldots \quad (12).$$

Eine einfache Umrechnung ergibt aus (12):

$$1 = \frac{G_g}{G} + \frac{G_c}{C} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (13),$$

also in bekannter Weise die Gleichung einer Geraden.

In Wirklichkeit sind die Gütegrade, zumal im Niederdruckteil, veränderlich, weshalb (13) nur als Näherungsformel anzusehen ist. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit gilt wiederum der Vergleich mit dem getrennten Betrieb, und zwar gilt, wenn W_I und W_{II} dieselbe Bedeutung haben wie im vorhergehenden Abschnitt:

$$W_I = G_g\,i_2 + G_k\,i_1 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (14)$$

$$W_{II} = (G_g + G_c)\,i_1 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (15).$$

mäßigere Gefällverteilung innerhalb der einzelnen Stufen des Niederdruckteils eintritt als bei reinem Kondensationsbetrieb gleicher Leistung. Aus (14) und (16) erhält man für die Ersparnis

$$E_e = W_I - W_{II} = G_g\,\frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_k}\,i_k - G_c\,\frac{i_1\,(i_c - i_k)}{i_1 - i_k} \quad . \quad (17)$$

oder

$$E_e = E - R_e \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (18).$$

Die Ersparnis ergibt sich also als Unterschied von zwei Ausdrücken, wovon der erste die „Gegendruckersparnis“ gemäß (7) darstellt, während der zweite R_e als das Restglied des Entnahmebetriebes bezeichnet werden kann. Dieses wird Null, wenn $G_c = 0$ ist, sonst aber nur dann, wenn $i_c = i_k$ wird. In den meisten Fällen ist daher die Ersparnis beim Entnahmebetrieb kleiner als die beim einfachen Gegendruckverfahren. Zum Zweck des Vergleichs der Arbeitsweise bei verschiedenen Anfangsdrücken dürfte es sich auch hier empfehlen, den Ausdruck

$$\varepsilon = \frac{E}{W_{II}} = \frac{G_g}{G_g + G_c}\,\frac{(i_1 - i_2)\,i_k}{(i_1 - i_k)\,i_1} - \frac{G_c}{G_g + G_c}\,\frac{i_c - i_k}{i_1 - i_k} \quad . \quad (19)$$

zu bilden. Schließlich ergibt sich für das Verhältnis

$$\lambda = \frac{W_{II}}{W_I} = \frac{(G_g + G_c)\,(i_1^2 - i_1\,i_k)}{G_g\,(i_1^2 - i_2\,i_k) + G_c\,(i_1^2 - i_1\,i_c)} \quad \ldots \quad (20).$$

Die größte Ersparnis erhält man wiederum, wenn $i_2 = i_k$ wird. Der Arbeitsverlust, der dadurch eintritt, daß $i_c > i_k$ ist, kann ausgedrückt werden durch

$$\mathfrak{A}_v = G_c\,(i_c - i_k) = G_c\,T_k\,(S_c - S_k) \quad \ldots \ldots \quad (21),$$

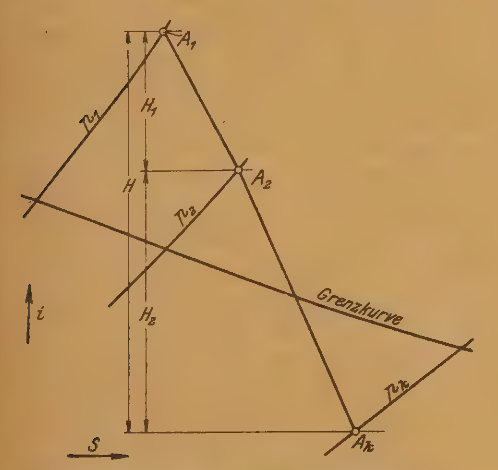


Abb. 5. Vereinfachtes JS-Diagramm der Entnahmeturbine.

Abb. 6. Vergleich des Entnahmebetriebes mit dem reinen Kondensationsbetrieb.

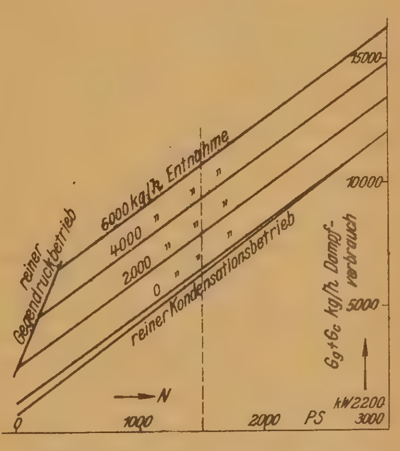


Abb. 7. Dampfverbräuche einer 3000 PS-Entnahmeturbine.

Da wiederum in beiden Fällen die gleiche Arbeit geleistet werden muß, so besteht noch die Beziehung

$$\mathfrak{A} = G_k\,(i_1 - i_k) = G_g\,(i_1 - i_2) + G_c\,(i_1 - i_c) \quad \ldots \quad (16).$$

In Abb. 6 bezieht sich der Linienzug $A_1 A_k$ auf die besondere Kondensationsturbine, die bei getrenntem Betrieb aufzustellen wäre, während $A_1\,A_2\,A_3\,A_c$ für das Entnahmeverfahren gilt. Um den Grund für diese Abweichung zu verstehen, denken wir uns, die Maschine möge mit Halblast laufen. Dann ist für gewöhnlichen Kondensationsbetrieb und damit auch für die besonders aufgestellte Kondensationsturbine bei getrenntem Betrieb der Dampfdruck zwischen Hoch- und Niederdruckteil niedriger als bei Vollast. Dabei sei angenommen, daß, wie es bei den ausgeführten Kondensationsmaschinen zumeist der Fall ist, lediglich der Hochdruckteil mit einer Füllungsregelung versehen ist. Gegenüber Vollast wird durch diese „unzweckmäßige Verteilung des Wärmegefälles“ der Gütegrad um einige Hundertteile verschlechtert. Für den Entnahmebetrieb besteht nun zumeist die Bedingung, daß der Anzapfdampf einen nahezu unveränderlichen Druck hat. Da außerdem der Niederdruckteil nur von der Dampfmenge G_c durchströmt wird, die (vgl. Abb. 4) kleiner als G_k ist, so erfährt zumeist der Dampf eine Drosselung, die in Abb. 6 durch die Gerade $A_2 A_3$ dargestellt wird. Daher gelangt man schließlich zum Punkt A_c, dem ein W. I. $i_c > i_k$ entspricht. Der Drosselverlust bedeutet eine Herabsetzung des Gütegrades im Niederdruckteil; allerdings ist dafür der Hochdruckteil bei Entnahmebetrieb vielfach günstiger, weil die verarbeitete Dampfmenge groß ist und das Wärmegefälle unveränderlich bleibt. Trotzdem überwiegt im allgemeinen der Verlust infolge der Drosselung den oben erwähnten Verlust durch unzweckmäßige Gefällverteilung. Man kann den Drosselverlust vermeiden oder einschränken, indem man die Füllungsregelung auch für den Niederdruckteil heranzieht, was allerdings nur dann möglich ist, wenn dessen erste Stufe mit veränderlicher Beaufschlagung ausgeführt werden kann; auch muß dann eine Gruppe von Überströmventilen vorgesehen werden. Wenn der Niederdruckteil aus mehreren Stufen besteht, wird jedoch auch diese Maßnahme bei großen Entnahmemengen, aber kleinen G_c-Werten nur beschränkten Erfolg haben, da eine noch unzweck-

wobei T_k die absolute Temperatur im Kondensator und $S_c - S_k$ den Entropieunterschied in den Punkten A_c und A_k bedeutet. Als Beispiel untersuchen wir eine 3000 PS-Turbine. In Abb. 7 ist der Dampfverbrauch in Abhängigkeit von der Leistung für verschiedene Entnahmemengen aufgetragen. Der Anfangsdruck des Dampfes sei 16 at abs., die Temperatur 325° C, das Vakuum 93 vH, der Entnahmedruck 3 at abs. Die Werte beziehen sich auf eine Turbine mit Füllungsregelung im Hochdruckteil und einfachem Überströmventil, das vom Druckregler aus beeinflußt wird. Abb. 8 stellt die Zustandsänderungen im JS-Diagramm für die verschiedenen Betriebsverhältnisse und Leistungen dar, und zwar $a\,b\,c$ für Vollast ohne Entnahme, $a\,b\,d\,e$ für Vollast mit 6000 kg/h Entnahme, $a\,f\,g$ für Halblast und reinen Kondensationsbetrieb, d. h. bei ausgeschalteter Anzapfsteuerung, $a\,b\,h\,i$ für Halblast und 0 Entnahme, d. h. bei eingeschalteter Anzapfsteuerung, $a\,b\,k\,l$ für Halblast und 6000 kg/h Entnahme. Bei Halblast und eingeschalteter Anzapfsteuerung ist der Dampfver-

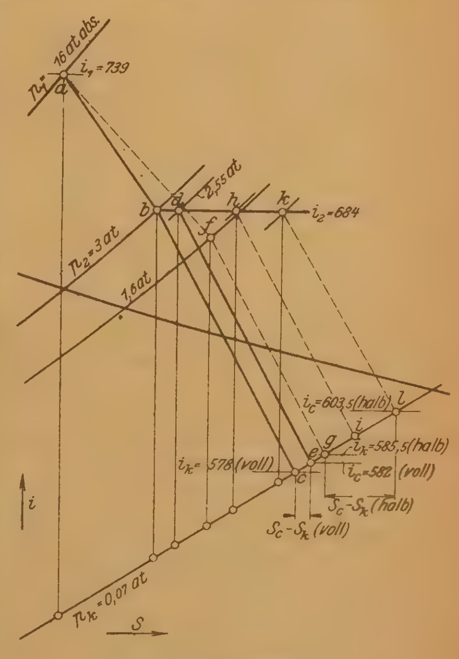
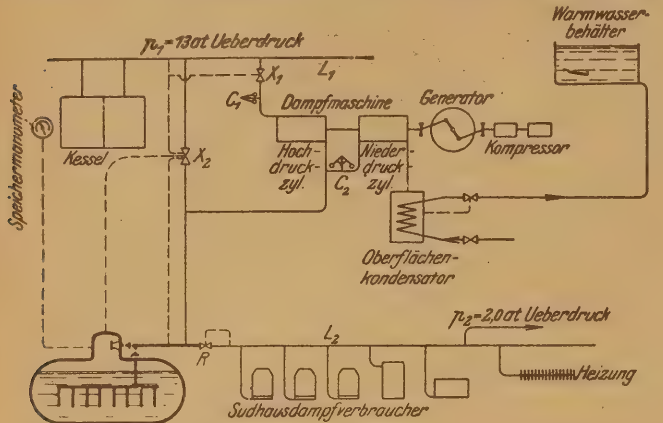


Abb. 8. JS-Diagramm für die 3000 PS-Entnahmeturbine.

brauch höher als bei ausgeschalteter Anzapfsteuerung, also reinem Kondensationsbetrieb, weil in diesem Fall der Drosselverlust wegfällt und gegenüber Vollast lediglich ein Mehrverlust infolge ungünstiger Verteilung des Wärmegefälles auf Hoch- und Niederdruckteil eintritt. Der Linienzug *a f g* zeigt nämlich, daß bei Halblast und reinem Kondensationsbetrieb der Druck zwischen Hoch- und Niederdruckteil der Turbine 1,6 at abs. beträgt (gegenüber 3 at abs. bei Vollast); es ist also das im Hochdruckteil verarbeitete Gefälle verhältnismäßig zu groß, das im Niederdruckteil verarbeitete zu klein. Der dadurch gegenüber Vollast entstehende Mehrverbrauch an Dampf (er äußert sich darin, daß in Abb. 7 die Dampfverbrauchlinie[1]) nicht durch den Nullpunkt geht) ist geringer als derjenige, der bei Einschaltung der Anzapfsteuerung durch Drosseln des Dampfes



Speicher $p_s = 3 - 4,5\ (5)$ at

Abb. 9.
Schema einer Entnahmemaschine mit Ruths-Speicher (Brauereianlage).

vom Punkt *b* zum Punkt *h* entsteht (Linie für 0 Entnahme). Für Vollast und gewöhnlichen Kondensationsbetrieb ergibt sich $i_1 = 739$, $i_2 = 684$, $i_k = 578$, und zwar unter Annahme von $\eta_i = 0{,}73$, $\eta_e = 0{,}72$. Der Dampfverbrauch beträgt hierbei $G_k = 12\,000$ kg/h. Demgegenüber ist für Entnahmebetrieb mit $G_g = 6000$ kg/h $G_c = 10\,200$. Infolge Drosselung durch das Überströmventil von 3 auf 2,55 at abs. wird $i_c = 582$. Für die stündliche Ersparnis errechnet sich nun aus (17)

$$E_g = 6000 \cdot 55 \cdot \frac{578}{161} \cong 1\,187\,000,$$

$$R_e = 10\,200 \cdot \frac{739{,}4}{161} \cong 187\,000,$$

$$E = E_g - R_e = 1\,000\,000.$$

Das Restglied R_e setzt die „Gegendruckersparnis" um 15,75 vH herab, sein Einfluß ist also nicht unerheblich. Denselben *E*-Wert erhält man auch auf Grund von Abb. 7, indem man die beiden Ausdrücke W_I und W_{II} bildet. Es ist

$$W_I = 12\,000 \cdot 739 + 6000 \cdot 684 \cong 12\,970\,000,$$

$$W_{II} = 16\,200 \cdot 739 \cong 11\,970\,000,$$

$$E = W_I - W_{II} \cong 1\,000\,000.$$

Für Halblast erhalten wir:

$$E_g \cong 1\,260\,000, \qquad R_e \cong 408\,000, \qquad E \cong 852\,000.$$

Hier beträgt R_e 32,4 vH von E_g, der Einfluß der Drosselung macht sich also in noch stärkerem Maße geltend. Es ist ferner

$$W_I \cong 8\,759\,000, \qquad W_{II} \cong 7\,907\,000.$$

Diesem Zahlenbeispiel ist eine Turbine zugrunde gelegt, deren Hochdruckteil aus einem zweikränzigen Geschwindigkeitsrad und deren Niederdruckteil aus einer Überdrucktrommel besteht, wobei ein Ausgleichkolben zur Aufnahme des Axialschubes vorgesehen ist. Es ist dabei angenommen, daß der Ausgleichkolben stets dem Druck an der Anzapfstelle ausgesetzt ist, so daß bei allen Belastungen der gleiche Labyrinthverlust auftritt. Durch geeignete Mittel kann dieser Verlust herabgesetzt werden.

An Stelle einer Entnahmeturbine kann man auch eine Gegendruckturbine und eine besondere Kondensationsturbine vorsehen. Die Gegendruckturbine ergibt jeweils eine Leistung, die der gerade nötigen Heizdampfmenge entspricht. In diesem Fall entsteht zwar kein Drosselverlust, doch ist die Kondensationsturbine vielfach schwach belastet, wodurch ihr Gütegrad ungünstig beeinflußt wird.

Die größte Ersparnis tritt bei der Entnahmeturbine dann ein, wenn $G_c = 0$ ist, da in diesem Falle $E = E_g$ wird; die Entnahmeturbine arbeitet dann als reine Gegendruckturbine. In Wirklichkeit wird allerdings wegen der Undichtigkeiten stets etwas Dampf durch die Abdichtung in der Zwischenwand in den Niederdruckteil strömen.

[1]) In Abb. 7 ist der Dampfverbrauch für gleichbleibende Entnahmemengen durch Geraden dargestellt. Dies trifft nur näherungsweise zu. Der wirkliche Verlauf hängt u. a. von der Zahl und der Anordnung der Düsenventile ab.

Das Gegendruckverfahren in Verbindung mit einem Ruths-Speicher.

Wird bei einer Gegendruckanlage eine größere Dampfmenge für Heizzwecke nötig, als die Maschine mit Rücksicht auf die geforderte Leistung verarbeiten kann, so pflegt man gedrosselten Frischdampf zuzusetzen. Das ist selbstverständlich unwirtschaftlich; der hierdurch bedingte Verlust entspricht für 1 kg Dampf dem Produkt aus der Entropievermehrung und einer absoluten Temperatur T_0, die gleich der Heiztemperatur gesetzt werden muß, falls der Gegendruckmaschine lediglich eine Heizanlage nachgeschaltet ist, da hierbei die Heizkörper die Rolle der „Umgebung" übernehmen. Es können nun die Verhältnisse so liegen, daß eine so große Heizdampfmenge nur zeitweise benötigt wird, während man in den Zwischenzeiten mit einer geringeren Heizdampfmenge ausreicht. In einem solchen Falle kann die Aufstellung eines Ruths-Speichers in Frage kommen. In Abb. 9 ist eine schematische Zeichnung einer Entnahmemaschine mit einem Ruths-Speicher dargestellt[2]). Durch den Hochdruckteil der Maschine möge bei einer gegebenen Leistung höchstens die Dampfmenge G_g^* strömen. Wird nun vorübergehend eine größere Dampfmenge, im Grenzfall $G_{g\,max}$, benötigt, so wird der Mehrbedarf an Heizdampf durch den Speicher gedeckt, der Speicher wird entladen; ist die erforderliche Heizdampfmenge geringer, so wird der Speicher geladen. Infolge des endlichen Rauminhalts des Speichers sind mit diesen Vorgängen Druckänderungen verbunden, und zwar soll sich der Speicherdruck p_s in den Grenzen zwischen dem Heizdruck p_2 und dem Höchstdruck $p_{2\,max}$ halten.

Es entsteht nun die Frage, ob durch diese Druckschwankungen irgendwelche Verluste entstehen. Die Tatsache, daß sich der Druck zwischen Hoch- und Niederdruckteil der Maschine ändert, bedingt noch keinen grundsätzlichen Verlust. Wohl wird dadurch das Wärmegefälle auf Hoch- und Niederdruckteil etwas anders verteilt, doch können durch entsprechende Ausbildung der Maschine nennenswerte Verluste vermieden werden. Bei Turbinen wird der Gütegrad im Hochdruckteil nicht allzu stark schwanken, für den Niederdruckteil sind bauliche Maßnahmen möglich, welche die Drosselung bei erhöhtem Speicherdruck vermindern oder aufheben. Anders liegen die Dinge bezüglich des Dampfes, der in den Speicher gefördert und diesem dann entnommen wird. Dieser Dampf wird im Hochdruckteil der Maschine von p_1 bis p_s statt von p_1 bis p_2 entspannt, wobei $p_2 \leq p_s \leq p_{2\,max}$ ist. Da aber für die Heizanlage Dampf vom Druck p_2 nötig wird, während der Dampf aus dem Speicher erst durch das Regulierventil *R* (Abb. 9) von p_s auf p_2 gedrosselt wird, so entsteht ein grundsätzlicher Arbeitsverlust. Um ihn zu ermitteln, muß in aller Kürze auf die Vorgänge beim Laden und Entladen des Speichers eingegangen werden. Aus $G = 1000$ kg Wasser, die sich in einem Speicher unter dem Druck p_s und der entsprechenden Sättigungstemperatur t_s befinden, entsteht bei einer Druckerniedrigung um dp eine Dampf-

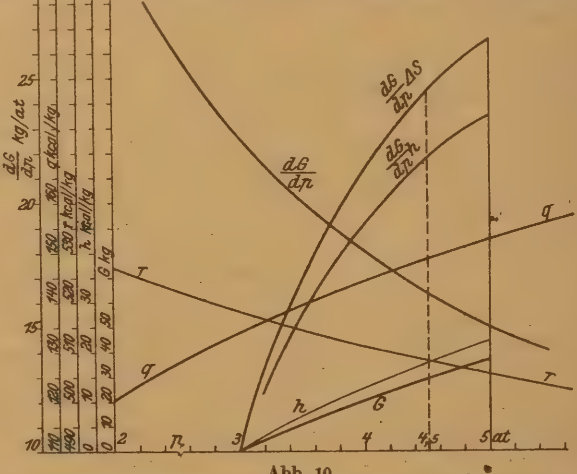


Abb. 10.
Zeichnerische Darstellung der Vorgänge im Wärmespeicher.

menge dG, um die sich zugleich der Speicherinhalt vermindert, und es gilt unter der Voraussetzung, daß dieser Dampf trocken gesättigt ist, die Beziehung:

$$1000\, \mathrm{d} q = r\, \mathrm{d} G \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22).$$

Dabei ist q die Flüssigkeits-, r die Verdampfungswärme. Statt (22) schreiben wir

$$1000 \frac{\mathrm{d} q}{\mathrm{d} p} = r \frac{\mathrm{d} G}{\mathrm{d} p} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22a).$$

Trägt man in einem Schaubild q und r in Abhängigkeit von p auf, so läßt sich daraus die Kurve der $\frac{\mathrm{d} G}{\mathrm{d} p}$-Werte ermitteln (Abb. 10). Durch graphische Integration zwischen gegebenen

[2]) Vgl. Z. Bd. 66 (1922) S. 597.

Grenzen bestimmt man die Dampfmenge ΔG, die aus dem Speicher in den gewählten Druckgrenzen entnommen bzw. beim Laden eingeführt wird. Die zwischen diesen Grenzen entnommene Dampfmenge kann näherungsweise aus $\Delta G = \int \frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p}\,\mathrm{d}p$ berechnet werden. In Abb. 10 sind als Druckgrenzen $p_2 = 3$ at abs., $p_{2\max} = 5$ at abs. gewählt; diesen entspricht $\Delta G = 36{,}5$ kg[1]). Ist der dem Speicher zugeführte Dampf überhitzt, so kann für das Laden an Stelle von (22 a) geschrieben werden

$$1000\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}p} = \left\{r + c_p(t - t_s)\right\}\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p} \quad \ldots \quad (22\text{b}).$$

Statt (22) kann man auch allgemeiner

$$1000\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}p} = (i - q)\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p} \quad \ldots \ldots \quad (23)$$

ansetzen, wobei i den beim Ladevorgang in jedem Augenblick maßgebenden Wert für den W. I. bedeutet. Den beim Entladen des Ruths-Speichers abströmenden Dampf kann man als trocken gesättigt betrachten, sofern nicht eine besondere Überhitzungseinrichtung vorgesehen ist; eine solche kommt nicht in Frage, falls der gespeicherte Dampf für Heizzwecke benützt wird.

Man kann nun den Arbeitsverlust z. B. unter der Annahme, daß der Ladedampf trocken gesättigt bzw. so schwach überhitzt ist, daß von der Überhitzungswärme abgesehen werden kann, wie folgt bestimmen. Gemäß Abb. 11 ermittelt man für jeden p_s-Wert zwischen p_2 und $p_{2\max}$ das Wärmegefälle h bis zu dem Drucke p_2. Dann würde man im ganzen, von Reibungsverlusten abgesehen, eine Arbeit errechnen

$$\mathfrak{A}_v = \int\limits_{p_2}^{p_{2\max}} \mathrm{d}G\,h = \int\limits_{p_2}^{p_{2\max}} \left(\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p}\right) h\,\mathrm{d}p \quad \ldots \ldots \quad (24).$$

Dieser Wert stellt diejenige Arbeit dar, die man gewinnen würde, wenn man statt des Drosselventils R eine besondere, ideal arbeitende Kraftmaschine zwischen Speicher und Heizanlage schalten würde. Der wirkliche Arbeitsverlust wäre kleiner, etwa $\mathfrak{A}_v \eta_g$, worin η_g den Gütegrad bedeutet. Aus der $\left(\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p}\right)h$-Kurve errechnet man $\mathfrak{A}_v = 420$ kcal. Man kann den Wert für $\mathfrak{A}_v$ noch auf andere Weise bestimmen, indem man von der bei der Drosselung entstehenden Entropievermehrung ausgeht. Für das Dampfteilchen, das beim Verlassen des Speichers den Druck p_s hat, beträgt die Entropievermehrung ΔS, dementsprechend ist der Verlust $\mathrm{d}G\,(T_2 \cdot \Delta S)$. Dabei ist T_2 die absolute Sättigungstemperatur, die dem Druck p_2 entspricht. Diese Formel ist zwar nicht ganz genau, da der Dampf nach der Drosselung etwas überhitzt ist, doch ist die Näherung, wie man sich durch Darstellung der Vorgänge im Temperatur-Entropiediagramm leicht überzeugen kann, eine vorzügliche. Im ganzen beträgt der Arbeitsverlust[2]):

$$\mathfrak{A}_v = T_2 \int\limits_{p_2}^{p_{2\max}} \left(\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p}\right) \Delta S\,\mathrm{d}p \quad \ldots \ldots \quad (25).$$

In den angegebenen Druckgrenzen erhält man durch graphische Integration wiederum $\mathfrak{A}_v = 420$ kcal. Dabei beträgt $T_2 = 273 + 132{,}8 = 405{,}8$, der mittlere Wert für den Wärmeinhalt ist $(i_3)_m = 653$ kcal/kg.

Die vorstehende Betrachtung darf nicht zu der Annahme verleiten, daß der „Arbeitsverlust" $\mathfrak{A}_v$ nur durch die Anordnung eines Ruths-Speichers entsteht. Ohne den Speicher müßte u. U. der vorübergehende Mehrbedarf an Heizdampf durch gedrosselten Frischdampf gedeckt werden, und dies würde einen wesentlich höheren „Arbeitsverlust" bedingen; denn auch dieser Frischdampf wäre in der Lage, Arbeit zu verrichten, und zwar in weit höherem Maße als der dem Speicher entnommene. Um auch hierüber einen Aufschluß zu erhalten, sei angenommen, daß für die Heizung trocken gesättigter Dampf von $p_0 = 14$ at abs. dem Kessel entnommen werde. Dieser Dampf hat einen Wärmeinhalt $i_0 = 666$ kcal/kg, man würde also statt ΔG eine geringere Dampfmenge $\Delta G_{\text{red}} = 36{,}5 \cdot 653/666 = 35{,}8$ benötigen. Bei der Drosselung bis auf p_2 wäre die Entropievermehrung $\Delta S_0 = 0{,}162$ und der Verlust

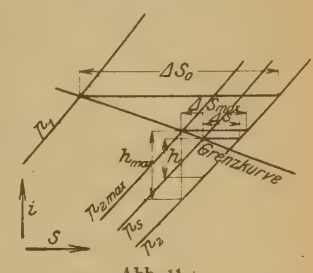


Abb. 11.
Vorgänge im Ruths-Speicher.

$$\mathfrak{A}_v^* = T_2\,\Delta S_0\,\Delta G_{\text{red}} \quad \ldots \ldots \quad (26).$$

Mit den hier angenommenen Größen ergibt sich:

$$\mathfrak{A}_v^* = 2400 \text{ kcal}.$$

Der Arbeitsverlust beim Ruths-Speicher beträgt also nur 17,5 vH desjenigen Wertes, der beim Drosseln des Frischdampfes entstehen würde. Wählt man die Druckgrenzen enger, etwa $p_{2\max} = 4{,}5$ at, so wird $\mathfrak{A}_v = 260$ kcal, $\Delta G = 28{,}7$ kg, $\mathfrak{A}_v^* = 1890$, der Speicherverlust beträgt nunmehr 13,8 vH des gedrosselten Frischdampfes.

Der in dieser Weise berechnete Verlust bezieht sich auf $G = 1000$ kg Wasser, und dabei kann in den angegebenen Druckgrenzen ΔG entnommen werden. Soll nun eine Dampfmenge G_s aufgespeichert werden, so ergibt sich hierfür ein Mindestrauminhalt für den Speicher, wenn v' den Rauminhalt von 1000 kg Wasser bei der höchsten Temperatur bedeutet:

$$V_{\min} = \frac{G_s}{\Delta G}\,v' \quad \ldots \ldots \quad (27)$$

In Wirklichkeit muß der Speicherinhalt, schon wegen der erforderlichen Einbauten und des Dampfraumes, größer als $V_{\min}$ sein. Wenn z. B. 3800 kg in den Druckgrenzen 3 und 4,5 at gespeichert werden sollen, so beträgt $V_{\min} = \frac{3800}{28{,}7} \cdot 1{,}085 = 144\ \text{m}^3$. Der ausgeführte Speicher gemäß Abb. 9 hat einen Rauminhalt von 165 m³.

Könnte man den Speicher für unveränderlichen Druck einrichten, so wäre $\mathfrak{A}_v = 0$. Bei einem Einstoffsystem, wie Wasserdampf, wäre dies nur möglich, wenn man den Speicher mit veränderlichen Rauminhalt ausführen würde, sofern Laden und Entladen nicht gleichzeitig vorgenommen werden kann. Bei dem hier durchgerechneten Beispiel ist angenommen, daß der Speicher gemäß Abb. 9 geschaltet ist. Wir wollen diese Anordnung als die „Schaltung in Seitenschluß" bezeichnen. Grundsätzlich ist noch eine zweite Art der Schaltung möglich, die wir „Schaltung in Nebenschluß" nennen wollen, wobei der Speicher zwischen festen Druckgrenzen arbeitet. Zieht man z. B. als Kraftmaschine etwa eine dreistufige Turbine heran, so kann der Speicher im Nebenschluß zum Mitteldruckteil der Turbine geschaltet werden. In diesem Falle ist der Arbeitsverlust:

$$\mathfrak{A}_v = \Delta G\,H \quad \ldots \ldots \quad (28)$$

wobei H das unveränderliche Wärmegefälle zwischen den Druckgrenzen, die also zugleich für den Mitteldruckteil der Turbine gelten, bedeutet.

Allgemeine Bewertung von Dampfkraftmaschinen.

Bei den vorstehend untersuchten Fragen, insbesondere bei den Berechnungsbeispielen, wurden nur die wesentlichsten Verlustquellen berücksichtigt. Die vielen Teilwirkungsgrade und Gütegrade haben übrigens ihre technische Bedeutung zum Teil eingebüßt. Man braucht sich nur zu vergegenwärtigen, wie schwierig

---

[1]) Das oben durchgeführte rechnerisch-zeichnerische Verfahren berücksichtigt nicht den Umstand, daß der Inhalt des Speichers beim Entladen sinkt. In den engen Druckgrenzen, die im vorliegenden Fall in Betracht kommen, spielt dies jedoch nur eine geringe Rolle. Von den 1000 kg machen die entnommenen 36,5 kg nur 3,65 vH aus, und diese Abweichung bezieht sich beim Entladen nur auf den Endzustand, so daß für die Berechnung des Arbeitsverlustes im Durchschnitt mit einer Abweichung von etwa 2 vH zu rechnen ist. Bei größeren Druckänderungen kann das folgende genaue Verfahren benutzt werden: Ist zu einer bestimmten Zeit der Speicherinhalt G kg, so gilt

$$G\,\mathrm{d}q = r\,\mathrm{d}G \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

oder

$$G = r\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}q} \quad \ldots \ldots \quad (2).$$

Differenziert man Gleichung (2) nach p, so gilt mit der abgekürzten Bezeichnung $\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p} = y$:

$$y = r\frac{\mathrm{d}^2 G}{\mathrm{d}p\,\mathrm{d}q} + \frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}q}\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}p} = r\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}q} + y\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}q}$$

oder

$$\frac{\mathrm{d}(q - r)}{r} = \frac{\mathrm{d}y}{y} \quad \ldots \ldots \quad (3).$$

Daraus ergibt sich

$$\int\limits_{p_1}^{p} \frac{\mathrm{d}(q - r)}{r\,\mathrm{d}p}\,\mathrm{d}p = \ln\frac{y}{y_1} \quad \ldots \ldots \quad (4).$$

Man ermittelt also durch graphische Integration die y-Werte, indem man von einem Anfangswert y_1 ausgeht, der für einen bestimmten Anfangsdruck aus der Kurve $\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}p}$ in Abb. 10 zu entnehmen ist. Aus den y-Werten kann durch nochmalige Integration der jeweilige Wert für G und daraus die beim Entladen entnommene Dampfmenge $\Delta G = G_1 - G$ ermittelt werden. Wenn nur diese Größe bestimmt werden soll, kann man zwischen gegebenen Druck- und Temperaturgrenzen r und q als Funktion von t darstellen. Mit guter Näherung können hierfür die Interpolationsformeln

$$\left.\begin{aligned} q &= a + \gamma t \\ r &= a - b t \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

benützt werden. Damit erhält man aus (1) $\frac{\mathrm{d}G}{G} = \frac{\gamma\,\mathrm{d}t}{a - b t}$

oder

$$\ln\frac{G}{G_1} = \frac{\gamma}{b}\ln\frac{a - b t_1}{a - b t_2} = \frac{\gamma}{b}\ln\frac{r_1}{r_2} \quad \ldots \ldots \quad (6).$$

Im Bereich zwischen 3 und 5 at abs. erhält man hierfür unter Zugrundelegung der Dampftafeln von Mollier bei $G_1 = 1000$ kg $G = 964{,}1$, also $\Delta G = 35{,}9$ gegenüber 36,5 kg auf Grund des vereinfachten graphischen Verfahrens nach Abb 10. Dabei ist $\gamma = 1{,}025$, $b = 5{,}69$ eingesetzt. Legt man die kürzlich von Knoblauch, Raisch und Hausen herausgegebenen Dampftabellen zugrunde, so gilt für den betrachteten Bereich mit guter Näherung: $\gamma = 1{,}025$, $b = 0{,}732$, woraus sich $\Delta G = 36{,}6$ kg errechnet. Mittels ähnlicher Interpolationsformeln hat schon Zeuner (Technische Thermodynamik Bd. II) die Theorie der feuerlosen Lokomotiven entwickelt. Neuerdings hat Pauer (Die Wärme 1923, S. 555) eine einfache Formel entwickelt, aus der die entnommene Dampfmenge ΔG sofort berechnet werden kann; sie geht für unendlich kleine Druckunterschiede in obige Gleichung 22 über. Sofern Arbeitsgrößen berechnet werden sollen, genügt die Kenntnis von ΔG nicht, es muß vielmehr der Verlauf von y bekannt sein.

[2]) Für die sorgfältige Durcharbeitung des Zahlenbeispiels bin ich Herrn Dipl.-Ing. Th. Wirth zu Dank verpflichtet.

es ist, den „thermodynamischen Gütegrad“ bei Zwischenüberhitzung oder bei der immer wichtiger werdenden Anzapfdampfvorwärmung klar und eindeutig festzulegen. Je mehr Kessel, Kondensator und Maschine — von Heizanlagen ganz abgesehen — miteinander in Wechselwirkung treten, um so weniger lassen sich die einzelnen Gütegrade gegenseitig abgrenzen. Damit soll nicht gesagt werden, daß die genaue Verfolgung der einzelnen Verlustquellen an Bedeutung verloren hätte. Letzten Endes kommt es aber auf die gesamte Wärmeausnützung an, und da ist es nicht allzu sehr von Belang, wenn man für den einen oder den anderen Teil der Anlage den Gütegrad nicht angeben kann. Bei reiner Krafterzeugung kommt als hauptsächlichster Wertmesser der thermische Wirkungsgrad in Betracht. Bei vereinigter Kraft- und Wärmeerzeugung dürften die in den vorstehenden Abschnitten entwickelten Ersparniszahlen E und ε gute Dienste leisten. Die entwickelten Formeln bilden den Niederschlag thermodynamischer Erwägungen und liefern allgemeine Richtlinien für die Bewertung des Gegendruckverfahrens. Sie sind übrigens selbst bei Berücksichtigung der meist geringfügigen mechanischen und Strahlungsverluste streng richtig, sofern diese für die Entnahme- oder Gegendruckturbine ebenso groß ausfallen wie für die besondere Kondensationsturbine. Natürlich sind neben den wärmetechnischen noch andere, teils rein wirtschaftliche, teils technische Gesichtspunkte von Bedeutung, die bei der Lösung des ganzen Fragenkomplexes mit zu berücksichtigen sind.

Der Gütegrad η_g, der bei den aufgestellten Formeln eine wichtige Rolle spielt, berücksichtigt alle inneren Verluste der Maschine, also die Reibung in den Leit- und Laufschaufeln, die Radreibung und Ventilation, ferner Undichtigkeitsverluste, soweit es sich nicht um Stopfbüchsen handelt, durch die Dampf ins Freie tritt, endlich Drosselverluste. Es ist grundsätzlich zu beachten, daß bei der Gegendruckturbine, ebenso wie auch beim Hochdruckteil der Entnahmeturbine, ηg in der Regel höher als bei der gewöhnlichen Kondensationsturbine gleicher Leistung ist, da wegen der größeren verarbeiteten Dampfmenge und der dadurch bedingten größeren Beaufschlagung Ventilations- und Undichtigkeitsverluste an den Schaufelenden weniger stark ins Gewicht fallen. Tatsächlich hat man schon mit einem zweikränzigen Geschwindigkeitsgrad einen Gütegrad von 70 vH erreicht[1]). Einkränzige Räder ergeben bei zweckmäßiger Bemessung und entsprechenden Betriebsbedingungen beträchtlich höhere Werte[2]). Bei Heranziehung einer größeren Zahl von Stufen, insbesondere wenn das der ersten Stufe zugeordnete Wärmegefälle gegenüber dem Gesamtgefälle klein ist, wird allerdings der Gütegrad bei Teillast gegenüber Vollast in stärkerem Maße herabgesetzt, da hierbei selbst durch Anordnung einer einmaligen Füllungsregelung die Drosselverluste nicht herabgesetzt werden.

Vergleicht man nun die Turbine mit der Kolbenmaschine, so fallen wohl bei dieser die thermodynamischen Verluste im Hochdruckteil mitunter niedriger aus. Anderseits sind bei der Kolbenmaschine die mechanischen Verluste stets höher, und diese Verluste können in keiner Weise, weder für die Krafterzeugung, noch für die Heizung nutzbar gemacht werden. Bei der Turbine äußern sich die Verluste fast ausschließlich darin, daß der Abdampf einen höheren W.I. hat, so daß nur ein kleiner Teil der zugeführten Wärmeenergie restlos verloren ist. Allerdings ist dieser Umstand nicht ausschlaggebend, da, wie ausführlich dargelegt wurde, Arbeitsleistung und Heizwärme nicht gleichwertig sind. Bei der Wahl zwischen Kolbenmaschine und Turbine muß noch besonders beachtet werden: Die Dampfverbrauchzahlen der Kolbenmaschine werden häufig auf die „indizierte“ Leistung bezogen, diejenigen der Turbine dagegen auf die „effektive“ Leistung. Wenn man die Werte einander unmittelbar gegenüberstellt, so schneidet dabei die Turbine zu schlecht ab.

Durch die vorliegende Untersuchung wird vor allem eine einfache Bewertung des Gegendruckverfahrens ermöglicht. Die Zahlenbeispiele dienen nur zur Veranschaulichung der Formeln; die hierbei eingeführten Gütegrade stellen Durchschnittswerte dar, die durch entsprechende Ausbildung der Maschine, zumal bei großen Dampfmengen, wesentlich überschritten werden können. An den Schlußfolgerungen, die aus den Formeln gezogen werden können, wird durch diesen Umstand nichts geändert.

[1]) Vgl. Forner, Z. Bd. 63 (1919) S. 78; Baer, Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1920.

[2]) Vgl. die in Z. Bd. 67 (1923) S. 1163 mitgeteilten Versuchsergebnisse.

Berechnung von Kühltürmen.

Von Dr.-Ing. C. Geibel.

Aufstellung von Wärmegleichungen, mit deren Hilfe Kühlwerkgrößen bestimmt werden können, wenn für dieselbe Bauart Versuchsergebnisse vorliegen. Strömungsgesetze, Verdunstungsgeschwindigkeit und Abluftzustand sind noch zu erforschen.

Bezeichnet man[1]) bei dem Gegenstromkühler mit

- s_w die mittlere spezifische Wärme des Wassers,
- w das Wassergewicht,
- s' die Wärmemenge, die nötig ist, um die Gewichteinheit Reinluft einschließlich der dazugehörigen Wasserdampfmenge H um 1° zu erhöhen,
- T die Lufttemperaturen,
- t die Wassertemperaturen,
- W das eintretende Reinluftgewicht,
- r' den Unterschied zwischen der Dampfwärme, bezogen auf die Temperatur der austretenden Luft, und der Flüssigkeitswärme, bezogen auf die Temperatur des eintretenden Wassers,
- H die absolute Feuchtigkeit, bezogen auf die Gewichteinheit Reinluft,

so ist

$$s_w\, w\,(t_1 - t_0) = W s'\,(T_1 - T_0) + W r'\,(H_1 - H_0) \quad . . . (1)$$

Die Zeiger 1 und 0 beziehen sich auf die Meßstellen in Höhe des Eintritts und Austritts des Wassers.

Angenähert ist

$$w\,(t_1 - t_0) = W s\,(T_1 - T_0) + W r\,(H_1 - H_0) \quad . \quad (2),$$

worin s und r die mittlere spezifische Wärme der Luft und die mittlere Verdampfungswärme bedeuten.

Bezeichnet man weiter mit

- h die Wärmeübergangszahl,
- a die Kühlwasseroberfläche, bezogen auf die Raumeinheit des mit Rieseleinbau ausgebauten Turminnern,
- A den Turmquerschnitt in Einbauhöhe,
- x die Einbauhöhe,
- k' die Diffusionszahl (verdampfte Wassermenge, bezogen auf die Oberflächeneinheit),
- P' den Dampfdruck entsprechend der Wassertemperatur,
- p den Teildruck des in der Kühlluft enthaltenen Dampfes,

dann ist

$$W s\,\mathrm{d}T = h a A\,\mathrm{d}x\,(T - t) \quad . . . . (3)$$

und

$$W\,\mathrm{d}H = k' a A\,\mathrm{d}x\,(P' - p) \quad . . . . (4),$$

oder näherungsweise, da nur kleine Teildrücke in Frage kommen,

$$W\,\mathrm{d}H = k a A\,\mathrm{d}x\,(P - H) \quad . . . . (5).$$

Dabei bezeichnet P die absolute Feuchtigkeit von gesättigter Luft, bezogen auf die in Frage kommende Wassertemperatur.

[1]) C. S. Robinson, Cambridge, Mass., The design of cooling towers, Mechanical Engineering, Febr. 1923, S. 99/102.

Gleichung (5) ergibt, dividiert durch Gleichung (3):

$$\frac{\mathrm{d}H}{s\,\mathrm{d}T} = \frac{k\,(P - H)}{h\,(T - t)} \quad . . . . . . (6).$$

Setzt man nach W. K. Lewis[2]) $\frac{h}{k} = s$, so ist

$$\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}T} = \frac{P - H}{T - t} \quad . . . . (7).$$

Unter der Annahme, daß der mittlere Temperaturunterschied annähernd gleich dem arithmetischen Mittel der auf den Eintritt und Austritt bezogenen Temperaturunterschiede ist, und daß auch für den mittleren Feuchtigkeitsgehalt das entsprechende arithmetische Mittel eingeführt werden darf, kommt man zu der Integralform

$$\frac{H_1 - H_0}{T_1 - T_0} = \frac{H_1 - P_1 + H_0 - P_0}{T_1 - t_1 + T_0 - t_0} \quad . . . . . . (8).$$

Die gleiche Annahme ergibt für Gleichung (4) die Integralform

$$W\,(H_1 - H_0) = k a A x\,\frac{P_1 + P_0 - H_1 - H_0}{2} \quad . . . . (9).$$

Da k die Kenntnis der schwer zu bestimmenden Wasseroberfläche voraussetzt, kann man $\frac{k a}{u}$ als Konstante des Kühlwerks einführen, die von der Bauart abhängig ist.

Sind z. B. $\frac{k a}{u}$, w, t_1, t_0, T_0, H_0 gegeben, und wird, die auf die Grundflächeneinheit bezogene Kühlwassermenge (Regenhöhe) und die Luftgeschwindigkeit u angenommen, so erhält man mit Hilfe der Gleichungen (2), (8) und (9) die Größe des Kühlwerks $A x$ für die bestimmte Bauart, die durch den Wert von $\frac{k a}{u}$ gekennzeichnet ist.

In gleicher Weise kann man für jeden Zustand der Außenluft und für jede gewünschte Kühlwirkung die Größe des Kühlwerks bestimmen. Allerdings muß u gegeben sein, was bei künstlichem Zug der Fall ist. Bei natürlichem Zug müßte man aber u in Abhängigkeit vom Luftzustand und von der Wasser- und Wärmebelastung kennen. Bezügliche Versuche, diese Beziehungen klarzustellen, hat man aber meines Wissens noch nicht vorgenommen.

[2]) The evaporation of a liquid into a gas, Mechanical Engineering, Juli 1922, S. 445.

Das Neue an der hier vorgeschlagenen Berechnungsweise ist im wesentlichen die Einführung der von Lewis aufgestellten Beziehung zwischen h und k. Diese ist für alle Fälle von Bedeutung, wo ein Gasstrom zum Abkühlen oder Erwärmen einer Flüssigkeit benutzt wird und wo Verdunstung auftritt. Es empfiehlt sich, für die verschiedenen praktischen Fälle der Kühltechnik, Dörrtechnik usw. den jeweiligen Genauigkeitsgrad zu bestimmen, denn in der Technik geht man von Mitteltemperaturen aus (t_0, t_1), während die oben erwähnte Beziehung für Oberflächentemperaturen gilt.

Die Einführung der Konstante $\frac{k\,a}{u}$ halte ich aber nicht für empfehlenswert. Die Versuchsergebnisse, auf die sich ihre Wahl stützt, reichen nicht aus. Zunächst ändert sich $\frac{k\,a}{u}$ mit der Regenhöhe, weil a zu- oder abnimmt, je nachdem mehr oder weniger Wasser über das Kühlwerk läuft. Ein Kühlwerk nur für eine bestimmte Regenhöhe bauen zu wollen, ist nicht richtig. Wenn tiefe Wassertemperaturen wärmetechnische Vorteile versprechen, muß man eben große Kühlwerke für geringe Regenhöhe aufstellen. Es gibt für jeden besonderen Fall eine wirtschaftlichste Regenhöhe[1]).

Um nun zu prüfen, ob wenigstens innerhalb einer bestimmten Regenhöhe die Konstante stets gleich bleibt, habe ich für verschiedene Regenhöhen Kühlkurven aufgezeichnet, Abb. 1. Diese von Otto H. Mueller jr.[2]) stammende und vielfach angewandte[3]) Darstellung zeigt die Abhängigkeit der Warmwassertemperatur t_1 von der am feuchten Thermometer bestimmten Außentemperatur τ (Kühlgrenze). Während jede Kurve in Abb. 1 einem bestimmten Wert für $\frac{k\,a}{u}$ entspricht, beziehen sich alle Kurven auf die Kühlzonenbreite $t_1 - t_0 = 10\,°C$. Sie wurden mit Hilfskurven aufgezeichnet, welche die Beziehungen zwischen $t_1 - T_1$ und t_1 und zwischen $\frac{k\,a}{u}$ und t_1 festlegen, und die für die drei Fälle $\tau = 0\,°$, $\tau = 10\,°$ und $\tau = 22\,°C$ und $T_0 = 0{,}1\,°$, $T_0 = 12\,°$ und $T_0 = 27{,}5\,°C$, entsprechend der relativen Feuchtigkeit von 0,98, 0,78 und 0,62, entworfen, waren. Die Einbauhöhe war mit $x = 5$ m und die Abluft als mit Dunst gesättigt angenommen.

Die Hilfskurven zeigen, daß die Beziehungen nicht durchweg eindeutig und stetig sind. Bei höheren Werten von τ treten innerhalb der praktischen Kühlmöglichkeit Unstetigkeiten und Doppelwerte auf.

[1]) Dr.-Ing. Geibel, Über Wasserrückkühlung mit selbstventilierendem Turmkühler, Forschungsheft 242, S. 80 bis 88.
[2]) Rückkühlwerke, Z. 1905, S. 51.
[3]) Forschungsheft 242, S. 34, 36.

Der Verlauf der Temperaturlinien in Abb. 1 entspricht nicht den bisherigen Erfahrungen, die z. B. in dem Muellerschen Aufsatz oder in meinem Forschungsheft niedergelegt sind. Es scheint daher berechtigt, zu zweifeln, daß $\frac{k\,a}{u}$ gleich bleibt, selbst wenn sich die Belastung nicht ändert. Die weitere Überlegung, daß sich k nicht verhältnisgleich mit u ändern, sondern von der Relativgeschwindigkeit zwischen Wasser und Luft[4]) abhängig sein wird, spricht ebenfalls gegen die Einführung von $\frac{k\,a}{u}$. Bei dem gewöhnlichen Rieseleinbau mit Tropfenbildung liegt die mittlere Wassergeschwindigkeit zwischen 0,4 und 1,2 m/s. Da sie also die gleiche Größenordnung hat wie die mittlere Luftgeschwindigkeit, muß sie beachtet werden. Innerhalb einer bestimmten Regenhöhe bleibt sich die mittlere Wassergeschwindigkeit gleich (Zähigkeitsänderungen vernachlässigt), während sich die mittlere Luftgeschwindigkeit ändert. Diese mittleren Geschwindigkeiten einzuführen, ist an sich nicht genau, weil die Luft über die verhältnismäßig sehr großen Oberflächen des den Einbau benetzenden Wassers mit geringer Geschwindigkeit streicht, während die kleine Tropfenoberfläche einer großen relativen Luftgeschwindigkeit ausgesetzt ist.

Abb. 1. Kühlkurven für $t_1 - t_0 = 10\,°C$ und verschiedene Werte von $\frac{k\,a}{u}$.

Erst muß die Verdunstungsgeschwindigkeit im Kühlwerk erforscht sein, ehe man eine solche Konstante des Kühlwerks aufstellen kann. Diese dürfte die Form $\frac{k\,a}{\alpha + \beta\,v^{\gamma}}$ haben, worin v die relative Geschwindigkeit zwischen Wasser und Luft und α, β und χ noch zu bestimmende Beiwerte sind. Dieser Quotient wird aber nur innerhalb einer Regenhöhe stets gleich sein. Er ändert sich mit ihr, weil sich die Oberfläche a mit der Regenhöhe ändert. Aber neben der Verdunstungsgeschwindigkeit muß man auch die Strömungsgesetze für Luft und Wasser und den Zustand der Abluft eingehender erforschen, ehe man auf diesem Wege dem Ziele näher kommt. [A 1911]

[4]) Forschungsheft 242, S. 61.

Verbrennungsvorgänge im Dieselmotor.

Von H. v. Wartenberg, Danzig, Phys.-Chem. Institut der Technischen Hochschule.

Zur Begründung der Ursache für die schlechtere Zündung und die zur Rußbildung neigende Verbrennung von Teerölen in Dieselmaschinen wird der Vorgang der Verbrennung dahin gedeutet, daß jeder Tropfen nicht etwa unter Bildung eines explosiven Gemisches mit der Luft erst vollständig verdampft, sondern schon die ersten entwickelten Dampfmengen verbrennen und den Tropfen als brennende Hülle umgeben. Durch diese Hülle muß der Sauerstoff diffundieren, um weiteren Dampf zu verbrennen. Bei den aromatischen Teerölen mit ihrem gegenüber den aliphatischen Mineralölen wesentlich geringeren Wasserstoffgehalt ist zur vollständigen Verbrennung eine höhere Sauerstoffkonzentration nötig. Die Verbrennung kann daher beschleunigt werden 1. durch wesentlich feinere Zerteilung der Tropfen, 2. wahrscheinlich durch Beimischung erheblicher Mengen im Öl emulgierten Wassers, 3. durch Anwendung höherer Temperaturen im Verdichtungsraum. Daß hierbei eine pyrogene Zersetzung der Tropfen und des Dampfes eintritt, braucht man nicht zu befürchten.

Bei dem Bestreben, in Dieselmaschinen die in Deutschland billiger erreichbaren Teeröle zu verwenden, haben sich nach Angaben von Ingenieuren als Schwierigkeiten ergeben: 1. die schwere Zündung überhaupt, 2. die mit Rußabscheidung verknüpfte Verbrennung. Die Untersuchung der Gründe hierfür vom Standpunkt des Chemikers ergab die Notwendigkeit, die physikalisch-chemischen Grundlagen der Verbrennung in Dieselmotoren etwas näher zu betrachten.

Offenbar werden die in den heißen Zylinder von rd. 500° eingespritzten Öltropfen zunächst an der Oberfläche bis zum Sieden erhitzt und der Dampf der Luft beigemischt, wobei immer eine Zone im Dampf-Gas-Gemisch diejenige Zusammensetzung hat, bei der die Zündtemperatur die niedrigst mögliche ist. Hier entzündet sich das Gemisch und bringt auch die übrigen Gemische zur Verbrennung. Es ist nicht einzusehen, warum hierbei erst der ganze Tropfen verdampfen, der Dampf sich mit der Luft mischen und dann erst, ähnlich wie beim Benzinmotor, das explosive Gasgemisch verbrennen soll. Bei der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit (rd. 0,01 s) ist eine solche homogene Vermischung und völlige Verdampfung der Tropfen auch ausgeschlossen, vielmehr brennen die einzelnen Tröpfchen wie kleine Kerzen in ihrer Dampfhülle auf ihrer Bahn.

In der Tat haben neuere, für diese Frage sehr wichtige Versuche von Haber[1]) gezeigt, daß bei Nebeln (Größenordnung der Tropfen 0,01 mm) zur vollständigen Verbrennung ein beträchtlicher Sauerstoffüberschuß gegenüber Explosionen mit denselben völlig vergasten Brennstoffen erforderlich war, und zwar war um so mehr Überschuß notwendig, je größer die Tropfen waren. Bei Nebeln trat bei der theoretisch genügenden Luftmenge stets viel CO anstatt CO_2 auf. Das zeigt ganz deutlich, daß die Verbrennung, trotz der im Vergleich zur Dieselmaschine weit feineren Verneblung in einem dauernd inhomogenen Mittel stattfindet und keine Rede davon sein kann, daß vor der eigentlichen Verbrennung völlige Vergasung stattfindet.

[1]) Haber, Über Nebelexplosionen, Z. f. angewandte Chemie Bd. 36 (1923) S. 373.

Die Geschwindigkeit der Verbrennung wird nicht durch den chemischen Vorgang, sondern durch die physikalischen Vorgänge der Verdampfung und der Diffusion des Sauerstoffes bedingt. Man kann demnach die Verbrennung durch möglichst feine Verteilung des Brennstoffes unterstützen. Mir sind bisher keine Größenangaben über die Tropfen im Zerstäuber bekannt geworden. Erst letzthin hat man an der hiesigen Hochschule Messungen angestellt, die überraschenderweise ergeben, daß die Tröpfchen recht groß sind, etwa 10 bis $5 \cdot 10^{-2}$ mm, also mehr einem Regen als einem Nebel entsprechen. Feinere Zerstäubung ist also fraglos möglich.

Natürlich gibt es eine günstigste Tröpfchengröße, da die Tröpfchen auch eine gewisse Wucht haben müssen, um möglichst weit geschleudert zu werden und nicht schon als Nebelwolke an der Düse stecken zu bleiben. Hierüber hat letzthin Hesselmann[2]) Berechnungen für frei ausgespritzte, nicht von einem Luftstrahl zerstäubte Tröpfchen veröffentlicht, die zeigen, daß Tropfen von 1 bis 0,01 mm je nach der Verdichtung der Zylinderluft schon nach Zentimetern stecken bleiben, und ein feiner Ölnebel bei der Explosion unvollkommene Verbrennung zeigt, d. h.

[2]) Hesselman, Z. Bd. 67 (1923) S. 661.

unter Sauerstoffmangel dicht vor der Düse stehen bleibt. Außerdem wünscht man in der Dieselmaschine gar keine plötzliche allgemeine Verbrennung, sondern des gleichmäßigeren Druckes halber eine über den ganzen Kolbenlauf verteilte.

Weiter wird die Diffusion und damit die Verbrennung auch von der Sauerstoffkonzentration beeinflußt. An jedem brennenden Tropfen bildet sich eine Hülle aus den im ersten Augenblick entstandenen Verbrennungsprodukten H_2O und CO_2, durch welche die Frischluft diffundieren muß, wenn auch die Diffusionswege durch starke Relativbewegung von Luft und Tropfen klein gemacht werden können. Tritt zu wenig O_2 durch die Dampfhülle, so kann sogar die Flamme wieder ausgehen, d. h. die Zündung ist schlecht. Brennstoffe, die weniger O_2 brauchen, zünden also leichter als andere. Es ist nun bekannt, daß die mineralischen Treiböle Paraffine von der Zusammensetzung $C_n H_{2n+2}$ und die Teeröle aromatische Kohlenwasserstoffe sind, die bestenfalls der Formel CnHn entsprechen, meist aber noch weniger Wasserstoff enthalten. Die aliphatischen Treiböle haben 85 vH C, 15 vH H, das schwerste davon, Masut, immer noch 12 vH H, während die Teeröle 90 vH C und 7 vH H, Naphthalin 94 vH C und 6 vH H enthält. Da nun 1 Atom C zur Verbrennung 1 Molekül O_2, 1 Atom H aber nur ¼ Molekül O_2 verbraucht, so ist klar, daß die Teeröle in dieser Hinsicht nachstehen und feinerer Verteilung und damit erhöhter Sauerstoffzufuhr bedürfen.

Die neuerdings von Alt[1]) angestellten Versuche über die Zündtemperaturen einiger Brennstoffe im Sauerstoffstrom haben dies bestätigt. Dieser Vorgang ist sehr verwickelt, weil dabei auch chemische konstitutive Einflüsse mitsprechen, so daß nur chemisch ähnliche Stoffe streng vergleichbar sind. Wie aber die erwähnten Versuche zeigen, haben durchweg die aliphatischen Brennstoffe niedrigere Zündtemperaturen als die aromatischen, und in einer Reihe ähnlicher Stoffe sinkt die Zündtemperatur von Benzol, Toluol, Xylol, Cymol um 125° ganz dem zunehmenden Wasserstoffgehalt entsprechend ($C_n H_n$, $C_n H_{n+1}$, $C_n H_{n+2}$, $C_n H_{n+4}$).

Wenn also bis zum Schluß Tropfenreste übrig bleiben, so scheint auf den ersten Blick auch die Bildung von Ruß dadurch erklärt, daß sich die flüssigen Tropfen in ihrer gegen Sauerstoff abschließenden brennenden Hülle pyrogen zersetzen. Dem ist aber nicht so, wie eine nähere Betrachtung der pyrogenen Zersetzung der Kohlenwasserstoffe zeigt. Eigentlich sind alle Kohlenwasserstoffe instabil mit der Neigung, in den wasserstoffreichsten, CH_4, und in C zu zerfallen. Dies sind aber nur die Endglieder, die über eine Unzahl von immer wasserstoffreicheren Verbindungen einerseits und immer kohlenstoffreicheren andrerseits erreicht werden können.

Dieser Zerfalltendenz steht aber die überaus geringe Reaktionsgeschwindigkeit hindernd im Wege, so daß man erst bei gewaltiger Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Steigerung der Temperatur eine Zersetzung erzielen kann; technisch wird dies in den sogenannten Crackprozessen durchgeführt. Hierbei werden die Öle in glühende Retorten gespritzt und erleiden dabei, je nach der Dauer ihres Aufenthalts, die aber stets nach vielen Sekunden zählt, und je nach der Temperatur verschiedene Zersetzungen. Zu einer derartigen Zersetzung hat das Tröpfchen in der Dieselmaschine aber gar keine Zeit. Die Reaktionsgeschwindigkeit der inneren Zersetzung ist gegenüber der zur Verfügung stehenden Zeit von 0,01 s viel zu klein.

Ein technischer Prozeß von größerer Ähnlichkeit, der sich in Bruchteilen einer Sekunde abspielt, ist die Rußerzeugung in gekühlten Ölflammen. Hierbei werden die aus dem Docht aufsteigenden Dämpfe durch den Flammensaum erhitzt, aber sehr rasch wieder durch das Aufprallen auf gekühlte Bleche abgekühlt und scheiden dabei Ruß, d. h. sehr wasserstoffarme Kohlenwasserstoffe ab. Wie Versuche von Hoffmann[2]) zeigen, hängt die Zusammensetzung des Rußes nur von der Temperatur der blakenden Flamme oder von der Kühlung ab, nicht von der Zusammensetzung der brennenden Kohlenwasserstoffe (Petroleum-Naphthalin). Obgleich der Dampf hier noch wesentlich mehr Zeit zur Zerlegung als in der Dieselmaschine hat, ist das Ergebnis der pyrogenen Zersetzung doch unabhängig von der Konstitution der Öle.

Wenn also in Dieselmaschinen Teeröle mehr als aliphatische Treiböle zur Rußbildung neigen, so kann das nicht an der pyrogenen Zersetzung liegen, sondern an andern Gründen. Diese sind sehr einfach wieder die Wasserstoffarmut der Teeröle. Nimmt man zwei Schälchen mit Hexan (C_6H_{14}) (Benzin) und Benzol (C_6H_6), beide mit je 6 Kohlenstoffatomen im Molekül, und steckt man den Inhalt in Brand, so brennt die Benzinflamme zwar leuchtend, denn es scheidet sich im Innern der Flamme Kohlenstoff pyrogen ab, aber diese Kohlenstoffmenge ist so klein, daß sie am Außensaum völlig verbrannt wird, während die Benzolflamme blakt. Durch genügend reiche Luftzuführung ins Innere der Flamme (Bunsenbrenner) läßt sich aber auch die Benzolflamme zu rußfreiem, ja sogar nichtleuchtendem Brennen bringen. Also auch hier ist wieder erheblich größere Sauerstoffzufuhr bei Teerölen erforderlich, die, wie der erste Abschnitt zeigte, durch feinere Zerstäubung erreicht werden kann.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) 690.
[2]) Hoffmann, Ber. Deutsche chem. Ges. 53 2078 1920.

Eine sehr erhebliche Rolle spielen die pyrogenen Zersetzungen aber in der Zylinderwand, die bedeutend kälter als das Gas ist und an der sich das Öl lange Zeit aufhält. Das Schmieröl sowie bis an die Wand spritzende Tröpfchen werden bei heißen Wänden stets pyrogen unter Rußabscheidung gespalten, wobei das Wandmaterial eine wesentliche katalytische, beschleunigende Wirkung ausübt. Man hat beim Studium der pyrogenen Zersetzungen von Kohlenwasserstoffen gefunden, daß in Röhren, die mit einer Haut von flüssigem Zinn überzogen sind, keine solche Rußabscheidung eintritt. Leider ist dieses Metall in Dieselmaschinen nicht verwendbar. Man muß also bei heißen Zylinderwänden aus Stahl wohl oder übel diese Zersetzung und Verrußung in den Kauf nehmen, um so mehr, je höher die Temperatur ist.

Bisher habe ich gezeigt, daß besonders bei den wasserstoffarmen Teerölen zur glatten Zündung sowie zur vollständigen Verbrennung eine möglichst hohe Sauerstoffkonzentration an der brennenden Dampfhülle der Tröpfchen erforderlich ist, die man durch feine Zerteilung erreichen könnte. Es gibt aber hierfür noch andre Mittel. Die Beimischung von gasförmigem, reinem Sauerstoff ist praktisch nur in unmittelbarer Nähe von Stickstofffabriken, die massenhaft überschüssigen Sauerstoff zur Verfügung haben, ausführbar, scheidet also in andern Fällen aus.

Ein andres Mittel, das bereits angewendet wird, ist die Beimischung von Wasser. Bei 1000° verbrennt der Wasserdampf die Kohlenwasserstoffe theoretisch ohne weiteres zu CO und H_2, die ihrerseits rasch und leicht verbrennen. Über die Geschwindigkeit dieser Umsetzung ist aber nichts bekannt und auf diese käme es an. Von dieser Umsetzung wohl zu unterscheiden ist aber die reaktionsbeschleunigende Wirkung des Wasserdampfes auf die Verbrennungsvorgänge. Ganz trockene Gase verbrennen überhaupt nicht, erst Spuren von H_2O beschleunigen katalytisch den Vorgang. Bei der erwähnten Umsetzung handelt es sich aber um erhebliche Mengen von H_2O, wie man aus folgenden Gleichungen ersehen kann, die für die einfachsten Arten der Treib- und Teeröle (schematisch) gewählt sind:

$$C_6 H_{14} + 6 H_2 O = 6 CO + 13 H_2 - 310 \text{ cal}$$
$$C_6 H_6 + 6 H_2 O = 6 CO + 9 H_2 - 248 \text{ cal.}$$

Zum völligen Umsatz, den man aber gar nicht zu erreichen braucht, braucht man also rd. gleiche Gewichtsteile von Öl und Wasser, wobei eine höchst innige, lange Zeit beständige Mischung erforderlich ist. Derartige Ölwasseremulsionen lassen sich in großen Mengen in Homogenisierapparaten für Dauermilch herstellen. Bei der Milch kommt es darauf an, die Fetttröpfchen so fein zu verteilen, daß sie in absehbarer Zeit nicht mehr aufsteigen, wozu etwa Tröpfchendurchmesser von 0,1 bis $1 \cdot 10^{-3}$ mm erforderlich sind; man erzielt das dadurch, daß man die Milch unter 150 at Druck durch passende feine Achatdüsen gegen Prallflächen treibt. Auf dem gleichen Wege könnte man dem Öl wesentlich mehr Wasser als bisher (3 vH) beimischen; dabei wird noch der weitere Vorteil erreicht, daß der in der Maschine entstehende Wasserdampf die Tröpfchen zerreißt und ihre Oberfläche vergrößert. Da diese Wasserreaktion chemisch beträchtliche Wärmemengen verbraucht (die Verdampfungswärme spielt daneben keine Rolle), so darf man nur so viel Wasser zumischen, bis die Verbrennung rußfrei erfolgt. Energieverlust findet dabei nicht statt, da mit oder ohne Wasser die Endprodukte der Verbrennungen gleich sind; wohl aber wird die Temperatur herabgesetzt. Da allerdings, wie schon gesagt, über die Geschwindigkeiten der Reaktionen nichts bekannt ist, können nur Versuche entscheiden.

Ein weiterer Weg, die mit der Verwendung von Teerölen verbundenen Übelstände zu vermeiden, ist theoretisch das Einspritzen des Öles in einen möglichst hoch erhitzten Verbrennungsraum, d. h. die Anwendung hoher Vorverdichtung. Da die chemische Reaktionsgeschwindigkeit außerordentlich, die Diffusionsgeschwindigkeit wenigstens mit $\sqrt{T}$ wächst, so kann dadurch die Verdampfung und Verbrennung beschleunigt und die Neigung zum Ausgehen der Flamme einmal entzündeter Tropfen vermindert werden. Die Gefahr, daß bei höherer Temperatur der Tropfen pyrogen zersetzt wird, besteht nach Obigem nicht, zumal nicht die Temperatur der flüssigen Tropfen, sondern nur die des Dampfes erhöht wird. [A 21]

Berichtigung.

Allgemeine polizeiliche Bestimmungen für die Anlegung von Landdampfkesseln.

Der Reichsarbeitsminister hat dem Verein deutscher Ingenieure mitgeteilt, daß sich in der Bekanntmachung betr. allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln vom 17. Dezember 1908 (Reichsgesetzbl. S. 3 Jahrgang 1909) im Abschnitt IX der Anlage II in der Tafel über die zulässige Belastung der Schrauben folgender Fehler befindet:

Bei der 1⅛"-Schraube ist für den Koeffizienten 0,4 eine zulässige Belastung von 2440 kg angegeben. Nach der für die Rechnung zugrunde zu legenden Formel $d = 0{,}4 \sqrt{P_1} + 5$ beträgt dieser Wert jedoch nur 2240 kg. Es ist somit für die fragliche Schraube eine zu hohe Belastung als zulässig angegeben. [M 48]

Betriebsergebnisse mit Luftkühlern für Turbodynamos.

Von W. Bedbur, Ingenieur der Harpener Bergbau-A.-G., Herne, und Ingenieur Ernst Stach, Lehrer an der Bergschule in Bochum.

An der Hand von Versuchen werden die Vorteile des geschlossenen Luftkühlverfahrens in Vergleich zu der bisher üblichen offenen Luftkühlung bei Stromerzeugern und geschlossenen Elektromotoren gestellt. Vorkehrungen zur Betriebsicherung im Falle des Ausbleibens von Kühlwasser.

Nachteile der Luftfilter.

Früher benutzte man ausschließlich Tuchfilter, um die Kühlluft für große elektrische Maschinen zu reinigen. In der Kriegszeit führte der Rohstoffmangel zur weitestgehenden Anwendung der sogenannten stofflosen Filter mit Wasserberieselung und Ölbenutzung und der schon länger bekannten Raschig-Ringe. Keine der genannten Filterarten verbürgt jedoch eine dauernd einwandfreie Luftreinigung. Besonders auf Bergwerken ist aber das Reinhalten der Stromerzeuger von größter Wichtigkeit, da, abgesehen von der mangelhaften Kühlung beim Verstauben, der Ansatz von feinem, selbstentzündlichem Kohlenstaub ein regelrechtes Feuer in der Maschine herbeiführen kann.

Tuchfilter bilden noch dadurch eine besondere Gefahrenquelle, daß sie selbst infolge von Staubansatz leicht entzündbar sind und durch das in regelmäßigen Zeitabständen notwendige Ausstauben beschädigt, also unbrauchbar werden können. Dem erstgenannten Verfasser ist aus seiner Praxis ein Fall bekannt, wo durch die saugende Wirkung des eingebauten Ventilators ein Funke von den Schleifringbürsten in das Dynamogehäuse drang und hier den feinen Kohlenstaub entzündete, wodurch im Augenblick das ganze Innere der Maschine in hellen Flammen stand. Obwohl sofort der Dampf abgestellt und das Vakuum durch Lufteinlaß vernichtet wurde, war das Magnetrad schon so stark ausgeglüht, daß eine zeitraubende und kostspielige Instandsetzung vorgenommen werden mußte. Das Luftfilter bestand in diesem Fall aus trockenen Raschig-Ringen.

Geschlossene Kühlung.

Da alle Luftfilter nur ein Notbehelf sind, hat die Technik seit langer Zeit nach einem Mittel gesucht, die schädlichen Einflüsse der Außenluft ganz auszuschalten. Die beste Lösung dieser Aufgabe besteht darin, die Kühlluft im geschlossenen Strome durch die Maschine zu führen und einen Luftkühler in den Kreisluftstrom einzuschalten, um die Warmluft auf die Anfangstemperatur zurückzubringen. Dieses Kühlverfahren wird als „geschlossene Kühlung" bezeichnet.

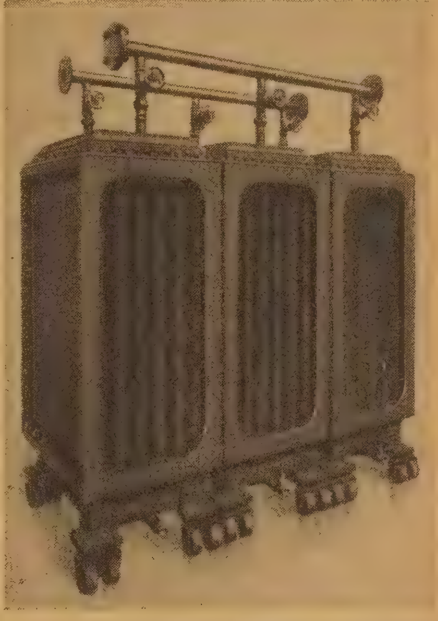
Man war ursprünglich der Meinung, daß die gebräuchlichen Wärmeaustauschmittel bei dem geringen Wärmegefälle zwischen Luft und Wasser außergewöhnlich große Kühlkörper und erhebliche Kühlwassermengen bedingten[1]). Es war deshalb notwendig, eine besondere Kühlerbauart zu schaffen, die bei geringem Wasserverbrauch eine große Kühlleistung aufweist und geringen Raum erfordert. Außerdem mußte beachtet werden, daß der Gesamtwiderstand der Anlage einschließlich Kühler nicht größer ausfällt als bei der offenen Kühlung mit Filtern. Nach langen technischen Vorarbeiten und wissenschaftlichen Untersuchungen wurde die Lösung der überaus wichtigen und schwierigen Aufgabe durch die Gesellschaft für Entstaubungsanlagen m. b. H. in Bochum gefunden und als

Luftkühler Bauart GEA

bezeichnet[2]).

Das wesentlich Kennzeichnende der GEA-Luftkühler sind schlankelliptische Rohre, die sanftes An- und Abfließen des Luftstromes, ähnlich wie bei Luftschiffen und Flugzeugen, hervorrufen, ohne daß man auf die für den guten Wärmeübergang notwendige leichte Durchwirbelung der Luft verzichten müßte. Ein weiterer und sehr wesentlicher Vorzug der elliptischen Rohre liegt in der mehr als doppelten Oberflächenentfaltung zwischen Luft und Rohr im Vergleich zum Kreisquerschnitt. Abb. 1 und 2 zeigen den Stromlinienlauf beider Querschnittformen und die Überlegenheit elliptischer Rohre.

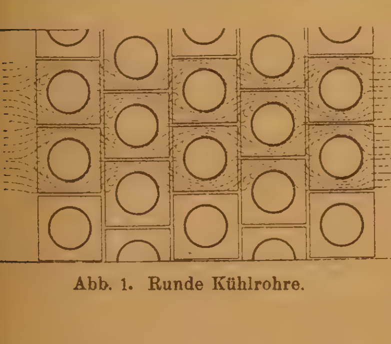
Die Kühlrippen werden aus dünnen rechteckigen und elliptisch gelochten Blechen gebildet, die straff über die Rohre gestreift und zur Förderung des guten Wärmeüberganges gemeinsam mit den Rohren verzinnt werden. Die Festigkeit dieser vielfach verrippten Rohre ist außerordentlich hoch. Versuche von Prof. Dr. Prandtl in Göttingen ergaben bei 40 at nur Formänderungen der Rippen und erst bei 103 at Zerplatzen infolge Längsaufreißens. Zum Einwalzen in Wasserkammern werden die Rohre nach dem Überstreifen der Rippen aufgerundet. Abb. 3 zeigt den senkrechten Schnitt durch einen Kühlkörper mit eingezeichneten Luft- und Wasserwegen, Abb. 4 die Ansicht von drei parallelgeschalteten Kühlkörpern mit den einzeln absperrbaren Zu- und Ableitungen.

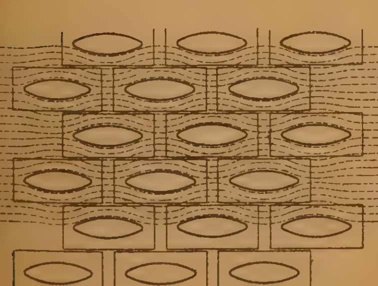

Abb. 4. Drei parallel geschaltete Kühlkörper des Gea-Luftkühlers.

Zum Reinhalten der Kühlrohre wird man schlammfreies Wasser verwenden; Kesseleteinbildung ist bei der geringen Wassererwärmung um höchstens 10 °C nicht zu befürchten. Der Wasserbedarf für die Luftkühlung richtet sich nach der zugestandenen Wassererwärmung und der stündlich abzuführenden

[1]) Hierauf hat schon Schonger in den Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke 1921 Nr. 291 S. 180/81 hingewiesen.

[2]) Ausführlich berichtet darüber O. Happel in den Mitteilg. d. Vergg. d. Elektrizitätswerke 1922 Nr. 307: Luftkühler für Turbogeneratoren.


Abb. 1. Runde Kühlrohre.


Abb. 2. Elliptische Kühlrohre, Bauart G E A.

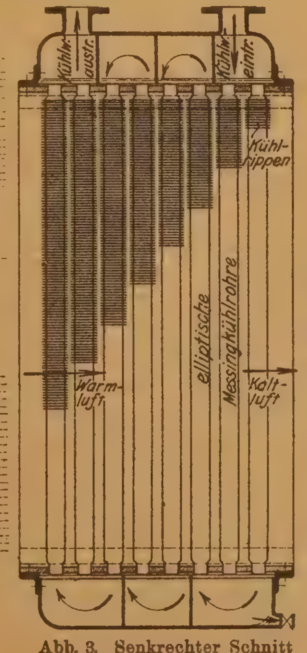
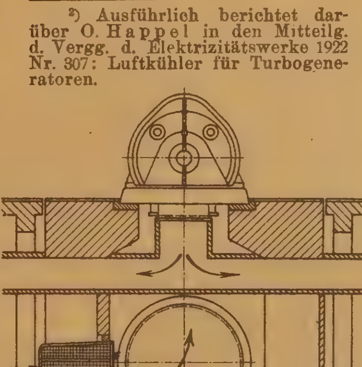


Abb. 3. Senkrechter Schnitt durch einen Kühlkörper


Abb. 5. Turbodynamo mit Luftfilter.

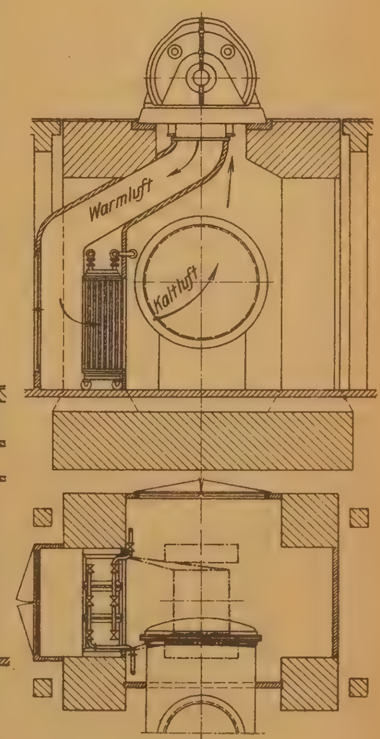


Abb. 6 und 7. Turbodynamo mit Luftkühler.

Wärmemenge. Nimmt man für erstere 10° an und rechnet für letztere bei einer 10 000 kW-Dynamo 5 vH der Klemmenleistung, also 500 kW, so sind 500 · 860 = 430 000 kcal/h abzuführen und 430 000 : 10 · 1000 = 43 m³/h Kühlwasser aufzuwenden. Bei 15° Zulauf beträgt die Abflußtemperatur 10 + 15 = 25 °C, also nicht mehr als die Durchschnittstemperatur des auf Kühlwerken zurückgekühlten Wassers. Das Kühlwasser des Luftkühlers kann demnach als Zusatzwasser für das Kühlwerk Verwendung finden.

Der Einbau des ersten Gea-Luftkühlers in Deutschland fand auf der Zeche von der Heydt der Harpener Bergbau-A.-G. in Herne i. W. statt. Die Erwartungen, die man auf das neue Kühlverfahren nach den Vorversuchen setzte, sind in vollem Umfang erfüllt und von den praktischen Ergebnissen zum Teil übertroffen worden. Der Kühler wurde an Stelle eines unbrauchbar gewordenen Tuchfilters eingebaut und dient zum Rückkühlen von 10 000 kg/h Luft für eine 1000 kW-Abdampf-Turbodynamo, Fabrikat der AEG. In Abb. 5 ist die Anlage im früheren Zustande mit Filter, in Abb. 6 und 7 mit eingebautem GEA-Luftkühler dargestellt. Abb. 8 zeigt den Kühler von der Austrittseite der Kaltluft. Über dem Kondensator ist der Abluftkanal zu erkennen. Aus Abb. 5 bis 8 geht hervor, daß umfangreiche Mauerarbeiten und Umbauten für die Luftkühlanlage nicht erforderlich waren. Der eine Strang der früheren Abluftleitung ist entfernt und der zweite mit erweitertem und verbessertem Querschnitt zum Kühler geführt. In der Außenwand des Warmluftkanals ist eine Umstellklappe angeordnet, damit man im Falle von Störungen an der Luftkühlanlage die Maschine behelfsweise mit der Außenluft in Verbindung bringen kann.

Untersuchung der Kühlanlage.

Im Einverständnis mit der Lieferfirma wurde der zweitgenannte Verfasser mit der Ausführung von Abnahmeversuchen nach einer ununterbrochenen Betriebzeit von etwa vier Wochen beauftragt. Es war ausbedungen, den umlaufenden Luftstrom mit 13 m³/h Kühlwasser von 15° auf 25 °C abzukühlen, wobei der Luftwiderstand nicht mehr als 20 mm W.-S. betragen sollte.

Es wurden zwölf betriebsmäßige Untersuchungen bei verschiedenen Belastungen der Anlage ausgeführt, um genügend Unterlagen für die Berechnung von Mittelwerten zu erhalten. Die Ergebnisse der wichtigsten Versuche, Nr. 1, 6, 9 und 12, sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Die Luft- und Wassertemperaturen wurden mit guten, verglichenen Thermometern festgestellt, die Kühlwassermengen an einem Durchflußmesser abgelesen und mehrfach durch ein Ausflußgefäß von 1 m³ Inhalt nachgeprüft. Die Ergebnisse beider Meßverfahren stimmten fast vollständig überein. Zum Messen des Luftdruckes vor und hinter dem Kühler diente ein Membrandruckmesser mit einer Teilung von ⅕ mm W.-S. Der dadurch ermittelte Widerstand betrug bei den zehn Versuchen mit voll eingeschaltetem Kühler etwa 10 mm W.-S., bei den Versuchen mit ⅔ Kühlfläche 19 mm W.-S.

Um ein klares Bild über den Verlauf der Luft- und Wassertemperaturen bei verschiedenen Belastungen zu erhalten, wurden alle Versuchsergebnisse für 10 m³/h Wassermenge und 15° Kühlwassertemperatur umgerechnet, Abb. 9. Die Kurve der Wärmeabfuhr in Abhängigkeit von der Belastung in kW ist als Mittelwert der Versuche anzusprechen. Für kälteres oder wärmeres Kühlwasser verschieben sich die Temperaturlinien um den entsprechenden Betrag nach unten oder oben.

Bei zwei Versuchen wurde ein Kühlkörper ausgeschaltet, um zu prüfen, ob für den Fall einer Instandsetzung an einem Kühlkörper zwei Drittel der Kühlfläche zum Betrieb des Stromerzeugers bei Vollast mit Sicherheit ausreichen. Es zeigte sich, daß die Warmluft nicht über 60,2° stieg, obwohl das Kühlwasser am Eintritt über 17° warm war. Die Wichtigkeit dieser Nachprüfung erwies sich kurz vor der Niederschrift dieses Aufsatzes, als sich an einem Kühlelement ein Materialfehler zeigte. Der Betrieb der Maschine konnte längere Zeit mit ⅔ Kühlfläche einwandfrei aufrechterhalten werden. Die Einschaltung einer weiten Luftkammer (s. Abb. 6 u. 7) in den Kreisluftstrom hat sich bei dieser Störung gut bewährt. Der Stromerzeuger ist durch das aus dem undichten Rohr austretende Wasser nicht beschädigt worden und konnte bis zur Abstellung der schadhaften Kühlzelle anstandlos in Betrieb gehalten werden.



Abb. 8. Gea-Luftfilter, Austrittseite der Kaltluft.

Abb. 9. Versuchsergebnisse, umgerechnet auf 10 m³/h Wassermenge und 15° Kühlwassertemperatur.

Versuche mit verschiedenen Kühlwassermengen bei gleicher Maschinenbelastung zeigten, daß die Luftkühlung unterhalb der normalen Wassermenge noch sicher zu erreichen ist, daß hingegen bei starker Vergrößerung der Menge wesentliche Vorteile nicht eintreten.

Die Feststellung der Luftmengen für Turbodynamos mit offenem Luftstrom durch Anemometer oder andere Meßgeräte ist mit großen Schwierigkeiten verbunden und zeigt Meßfehler bis ± 30 vH. Beim Einbau von Luftkühlern ist man jedoch imstande, das Gewicht der umlaufenden Luft mit großer Genauigkeit aus

Zahlentafel 1. Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Luftkühler für eine 1000 kW-Turbodynamo auf der Zeche von der Heydt.

Versuch Nr.	1	6	9	12¹)
Versuchstag	28. 6. 23	10. 7. 23	12. 7. 23	12. 7. 23
Belastung . . kW	900	500	755	755
Zeit . . . . h	11^{26} bis 12^{00}	6^{48} bis 7^{22}	9^{12} bis 9^{20}	12^{15} bis 12^{35}
Barometerstand, auf 0° reduziert . . mm Q.-S.	760	757	761	761
I. Luft:				
a) Temperatur beim Austritt aus dem Stromerzeuger . °C	50	50,5	56,0	60,2
b) Temperatur hinter dem Kühler . °C	22,8	24,6	27,8	31,5
c) relative Luftfeuchtigkeit hinter dem Kühler . . vH	64	49	50	50
d) Luftüberdruck vor dem Kühler mm W.-S.	11	10,2	10,2	19,2
e) Luftüberdruck hinter dem Kühler mm W.-S.	1	0,2	0,2	0,2
II. Kühlwasser:				
f) Temperatur am Austritt . . . . . °C	20,2	23,5	26,7	25,9
g) Temperatur am Eintritt . . . . . °C	13,2	16,0	17,2	17,15
h) Wassermenge m³/h	10,25	8,17	7,10	7,58
III. Versuchsergebnisse:				
i) Abkühlung der Luft $(a-b)$ . . . . . °C	27,2	25,9	28,2	28,7
k) Erwärmung des Kühlwassers $(f-g)$ . . °C	7,0	7,5	9,5	8,75
l) abgeführte Wärmemenge $(h \cdot k)$ kcal/h	71750	61275	67400	66400
m) Temperaturabstand zwischen Kaltluft u. Kaltwasser $(b-g)$ °C	9,6	8,6	10,6	14,35
n) durch 1 kg Luft abgeführte Wärmemenge $(0{,}24 \cdot i)$ . . . kcal/h	6,53	6,22	6,77	6,89
o) Gewicht der umlaufenden Luftmenge $\left(\frac{l}{n}\right)$. kg/h	10980	9858	9970	9640
p) Luftwiderstand des Kühlers $(d-e)$ mm W.-S.	10	10	10	19

¹) Dieser Versuch wurde mit ⅔ Kühlfläche durchgeführt.

der abgeführten Wärmemenge und dem Abstand zwischen Warmluft- und Kaltlufttemperatur zu berechnen. Mit Benutzung der in Zahlentafel 1 gewählten Zeilenbuchstaben erhält man den Wärmeentzug für 1 kg Luft zu $n = 0{,}24\ (a - b)$,

die durch das Kühlwasser abgeführte Wärmemenge zu $l = h\ (f - g)$

und damit das umlaufende Luftgewicht $o = \frac{l}{n} = \frac{h\,(f-g)}{0{,}24\,(a-b)}$.

Abweichungen von dem so berechneten Luftgewicht sind bei sorgfältigen Messungen nur auf Schwankungen der Drehzahl der Turbodynamo, also auf Änderungen des Beharrungszustandes bei verschiedenen Belastungen zurückzuführen.

Die Messung der Lufttemperaturen muß nach Eintreten des Beharrungszustandes unter sorgfältiger Ausschaltung von Wärmestrahlung vorgenommen werden. An den einzelnen Kühlzellen

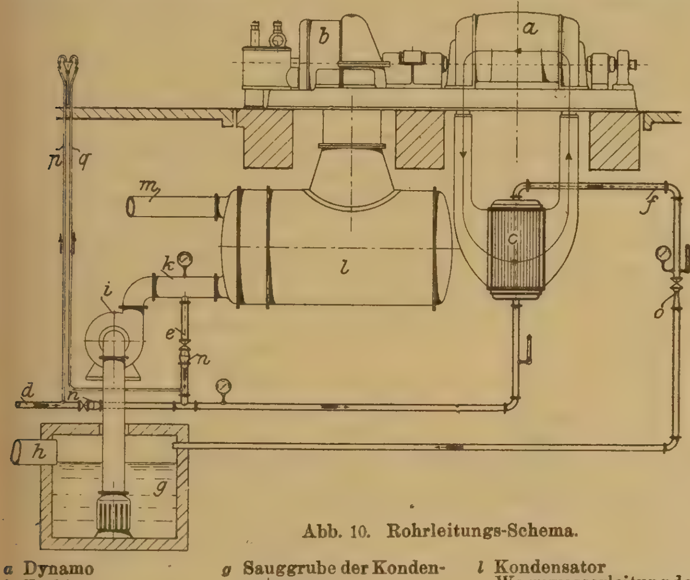


Abb. 10. Rohrleitungs-Schema.

a Dynamo
b Turbine
c Luftkühler
d Kühlwasserleitung
e Hilfsleitung
f Abwasserleitung
g Sauggrube der Kondensatorpumpe
h Zuflußleitung vom Kühlturm
i Kondensatorpumpe
k Kaltwasserleitung des Kondensators
l Kondensator
m Warmwasserleitung des Kondensators
n Rückschlagklappen
o Wassermesser
p Kontrollabzweig der Frischwasserleitung
q Kontrollabzweig der Hilfswasserleitung.

stellen sich außerdem infolge praktisch unvermeidlicher ungleicher Wasserbelastungen Unterschiede in der Temperatur der durchtretenden Kühlluft ein. Messungen dicht unterhalb der Dynamo zeigten eine Temperaturzunahme um etwa 6° infolge Wärmeabstrahlung von Kondensator und Mauerwerk. Unter gewöhnlichen Betriebverhältnissen ist allerdings mit einer weit geringeren Temperatursteigerung am Kondensator zu rechnen, da im vorliegenden Falle das eintretende Kondensationskühlwasser infolge einer Störung am Kühlturm 45 °C hatte.

Nach dem Ergebnis der Abnahmeversuche ist die übernommene Gewähr in vollem Umfang erreicht. Teilweise wurden sogar noch günstigere Ergebnisse erzielt. Der zugesicherte Temperaturabstand von 10 °C zwischen Kaltluft und eintretendem Kühlwasser wurde bereits mit einer Kühlwassermenge von 10 m³/h erreicht, während 13 m³/h verlangt waren. Ebenso betrug der Luftwiderstand statt 20 nur 10 mm W.-S.

Die Kühlwasserbeschaffung

macht im Gegensatz zu den ursprünglichen Befürchtungen keine Schwierigkeiten. Für ausreichende Wirkung wird nur eine verhältnismäßig geringe Wassermenge gebraucht. Das für die Kondensationsanlage erforderliche Zusatzwasser genügt hierfür vollkommen, so daß besondere Wasserkosten für den Betrieb der Luftkühlanlage nicht entstehen. Die Anordnung ist so getroffen, daß das Zusatzwasser in möglichst kaltem Zustande zunächst durch den Kühler läuft und von da nach dem Saugbehälter der Kondensationspumpe abfließt. Für den Fall, daß die Frischwasserzufuhr unterbrochen wird, kann der Kühler außerdem durch eine besondere Leitung an die Druckleitung der Kondensationspumpe angeschlossen werden. An geeigneten Stellen eingebaute Rückschlagklappen und Regelschieber sorgen für eine selbsttätige Arbeitsweise.

Abb. 10 stellt ein Schema der vollständigen Luftkühlanlage mit den zugehörigen Rohrleitungen dar. Es ist zweckmäßig, zur Überwachung der beiden Wasserleitungen Abzweige an eine leicht zugängliche Stelle im Maschinenhaus zu führen und daselbst kleine Wassermengen sichtbar ausfließen zu lassen. Wenn beide Prüfleitungen ausfließen, ist die Rohrleitung der Anlage in Ordnung. Wenn nur eine Leitung ausfließt, ist die Frischwasserleitung gestört und die Hilfsleitung in Betrieb. Man kann Störungen auch durch Licht- oder Lärmsignale anzeigen lassen.

Sicherungsmaßnahmen.

Abb. 11 zeigt eine Warmluft-Umstellklappe, die bei vollständigem Versagen sämtlicher Rohrleitungen und bei ungenügender Aufmerksamkeit der Bedienung die Maschine selbsttätig mit der Außenluft in Verbindung bringt und während der Dauer der Betriebstörung die Kühlung der Dynamomaschine durch einen offenen Luftstrom sichert. Im Regelbetrieb wird die Umstellklappe durch einen Druckkolben mittels eines Kniehebels verschlossen gehalten. Der Kolben steht durch eine Zweigleitung mit der Abwasserleitung des Kühlers in Verbindung. Wenn der Wasserdurchfluß gestört ist, sinkt der Kolben durch das eigene Gewicht oder durch Federwirkung herunter und gibt die Klappe frei. Diese wird durch ein Gewicht in die punktiert angedeutete Lage gebracht, so daß die warme Luft ins Freie entweichen und frische Luft durch den Kühler in die Maschine gelangen kann. Die Verbindung zwischen Warmluftkanal und Kühler ist gleichzeitig gesperrt. Bemerkenswert ist die Ausbildung der Umstellklappe als doppelarmiger Hebel, wodurch die gleichzeitige Freilegung zweier Öffnungen mit Hilfe eines einzigen Organes ermöglicht wird. Ein weiterer Vorteil der Klappe besteht darin, daß sie vom Luftdruck entlastet ist.

Abb. 11 Luftkühler mit Warmluft-Umstellklappe.

Amerikanische Luftkühler.

Das Ausland, insbesondere Amerika, hat sich ebenfalls mit der Aufgabe befaßt, die Luftfilter durch Luftkühler zu ersetzen. Hier werden die Kühler unmittelbar unter dem Stromerzeuger angebracht; diese Anordnung erscheint jedoch außerordentlich gefährlich, da bei Undichtwerden des Luftkühlers unbedingt Wasser in die Generatorwicklung gelangen und augenblicklich Kurzschluß herbeiführen wird.

Auf den Vorzug elliptischer Rohre der GEA-Luftkühler ist schon hingewiesen. Die Amerikaner verwenden noch Kreisquerschnitt und setzen die Rohrreihen hintereinander, während die deutsche Bauart versetzte Rohrreihen hat. Die Vorteile dieser Rohrstellung werden durch Berechnungen und Schaubilder in dem Buch „Hochleistungskessel" von Dr.-Ing. Thoma[1]) erhärtet, wobei nachgewiesen ist, daß die Wärmedurchgangszahl bei versetzten Reihen um 20 vH größer ist als bei geraden.

Vorteile der geschlossenen Luftkühlung.

Werden die Zugänge zu dem Kalt- und Warmluftraum mit gutschließenden Türen versehen, so ist ein wesentlicher Luftwechsel nicht zu befürchten. Der wenige Staub in der umlaufenden kleinen Luftmenge (0,2 g in 50 m³, entsprechend einem Staubgehalt von 4 mg/m³), ist auch bei Luftwechsel bedeutungslos.

Neben weiteren Vorteilen, wie Fortfall von Bedienungs- und Betriebskosten, dauernd sauberer Maschine, Verringerung der Brandgefahr, ist eine besondere Überlegenheit der geschlossenen Luftkühlung in der völligen Unabhängigkeit der Warmlufttemperatur vom Zustand der Außenluft zu suchen. Die Temperaturen des umlaufenden Luftstromes werden bei einer gegebenen, vom Kühler abzuführenden Wärmemenge nur von Menge und Temperatur des Kühlwassers beeinflußt. Dieser Vorteil macht sich besonders in den Sommermonaten bemerkbar. Während der Abnahmeversuche, die nicht ohne Absicht auf recht heiße Tage verlegt waren, stieg die Lufttemperatur im Schatten auf 33 °C. Auf dem Wege zum Stromerzeuger erwärmt sich die Luft bei Anwendung des offenen Luftstromes an den im Maschinenkeller befindlichen wärmeführenden Apparaten und Rohrleitungen um schätzungsweise 5° auf 38 °C. Nach Abb. 9 beträgt die Temperaturzunahme im Stromerzeuger bei 900 kW Belastung etwa 30°. Die Luft würde also bei Anwendung des offenen Luftstromes die Dynamo mit 38 + 30 = 68 °C verlassen. Nach dem Einbau des Luftkühlers betrug dagegen die höchste Warmlufttemperatur nur 56 °C, wenn man von dem Versuch mit ⅔ Kühlfläche absieht. Man ist deshalb hinsichtlich der Maschinentemperatur imstande, den Stromerzeuger während der Sommermonate höher zu belasten als bei Anwendung des offenen Luftstromes. Da elektrische Maschinen notwendigerweise für die höchsten Sommertemperaturen gebaut werden müssen, öffnen sich nach dieser Richtung bei Anwendung geschlossener Luftkühlung günstige Ausblicke. Bemerkenswert ist noch, daß durch den Einbau von Luftkühlern das Ansaugegeräusch der Maschinen völlig beseitigt wird. [A 2003]

[1]) Berlin 1921. Julius Springer.

RUNDSCHAU.

Maschinenteile.

Kupferarme Zinklegierungen für die Lager an Werkzeugmaschinen, Einfluß des Gießens und der Schmierung.

In der Zeitschrift „Werkstattstechnik" Bd. 17 (1923) S. 481 und 522 berichten Schlesinger und Kurrein über umfassende Versuchsreihen an sechs verschiedenen Legierungen, die als Sandguß und als Kokillenguß geprüft worden sind. Aus den Legierungen wurden gleiche Büchsen für die Hauptspindel einer Loeweschen Wagerechtfräsmaschine hergestellt, die, ähnlich wie bei einem fliegenden Fräser in einer besondern Bremseinrichtung an dieser Maschine arbeiteten. Die Büchsen wurden unter Kantenpressung bis zum Versagen oder bis zu rd. 41 kg/cm² Lagerdruck belastet und dabei wurden Reibungsmomente, Lagertemperaturen und Antriebleistung beobachtet, die gleichzeitig mittels eines Amslerschen Pendeldynamometers aufgezeichnet wurden. Die Belastung wurde stufenweise gesteigert und jedesmal so lange gleichförmig erhalten, bis ausgesprochener Beharrungszustand eintrat oder das Versagen der Büchse durch Temperaturanstieg oder durch den Ausschlag des Dynamometers erkennbar wurde.

Hierbei zeigte sich, daß die im praktischen Betrieb möglichen Beobachtungen von Temperatur und Antriebleistung an einem elektrischen Strommesser kein eindeutiges Bild des Verhaltens der Büchse liefern, sondern daß nur aus den Dynamometerschaubildern oder aus dem ganzen Verlauf der Temperaturlinie im Vergleich zu dem einer einwandfreien Büchse richtige Schlüsse gezogen werden können. Nachdem der Einfluß des bei den Versuchen verwendeten Einheitsöles durch Vergleichversuche mit einem guten Maschinenöl festgestellt worden war, wurden neben den Zinkbüchsen auch drei Bronzen bekannter Friedensgüte den gleichen Versuchen unterzogen. Diese Versuche ergaben, daß bei „ungestörtem" Lauf der Büchse, d. h. solange die Ölhaut zwischen Welle und Büchse unverletzt ist, also reine Flüssigkeitsreibung vorliegt, der Einfluß des Lagermetalls auf den Reibungswert verhältnismäßig gering ist, sich aber bei den Zinklegierungen deutlich durch mehr oder weniger plötzliches Versagen gegenüber den Bronzen äußert, wenn man das Lager überlastet. Z. B. sind die Dynamometerschaubilder, Abb. 1 u. 2, der Zinkbüchse $D\,1\,s$ und der Bronzebüchse 102 wenig verschieden, wenn man sie mit den schweren Störungen vergleicht, die bei andern Laufbildern auftreten.

Aus einer Zusammenfassung der sonst angenommenen Bedingungen für den Lauf einer Lagerbüchse ergibt sich, daß für die Beurteilung der Güte eines Lagermetalls weder der Lagerdruck, noch die Temperatur allein, sondern das aus den Dynamometerschaubildern gewonnene Verhältnis zwischen der „ungestörten" Laufzeit und der ganzen Laufzeit maßgebend ist. Die Ordnung der untersuchten Büchsen nach diesem Gesichtspunkt ergab das Bild in Abb. 3. Überraschenderweise sind hiernach, entgegen der Ansicht der Praxis, die mit Sandkern gegossenen Büchsen gegenüber den mit Eisenkern gegossenen ausgesprochen im Vorteil und den Bronzebüchsen gleichwertig. Eine durch Auswertung der Dynamometerschaubilder ermöglichte Berechnung und Trennung der Reibungszahlen nach ihrer Herkunft aus einem „ungestörten" Lauf, einem „gestörten" Lauf, sowie aus dem Beginn und aus der Zeit nach dem Einlaufen erwies zahlenmäßig, daß die Lagermetalle als solche bei reiner Flüssigkeitsreibung weniger Einfluß auf die Reibungszahlen haben, dagegen auch bei vorübergehenden Störungen sehr verschiedene Erhöhung der Reibungswerte bedingen.

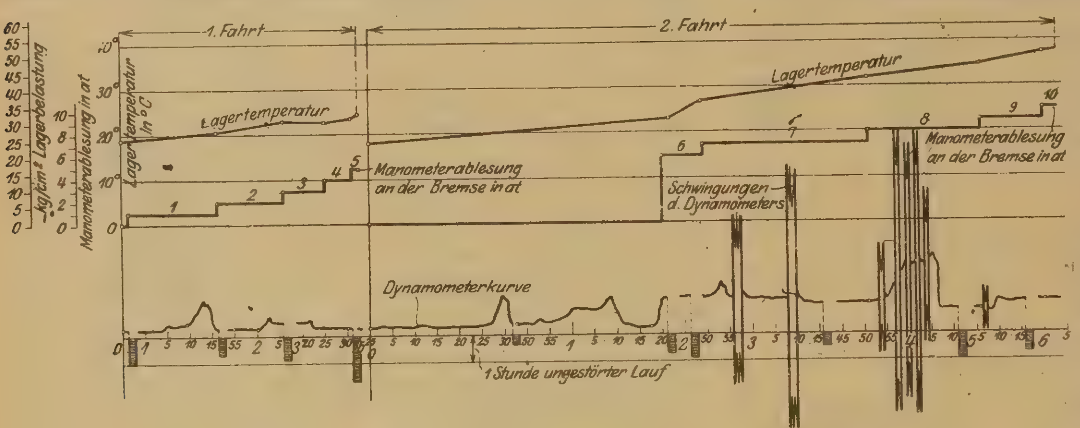


Abb. 1. Dynamometerkurve der Zinkbüchse D 1 s zeigt guten Lauf.

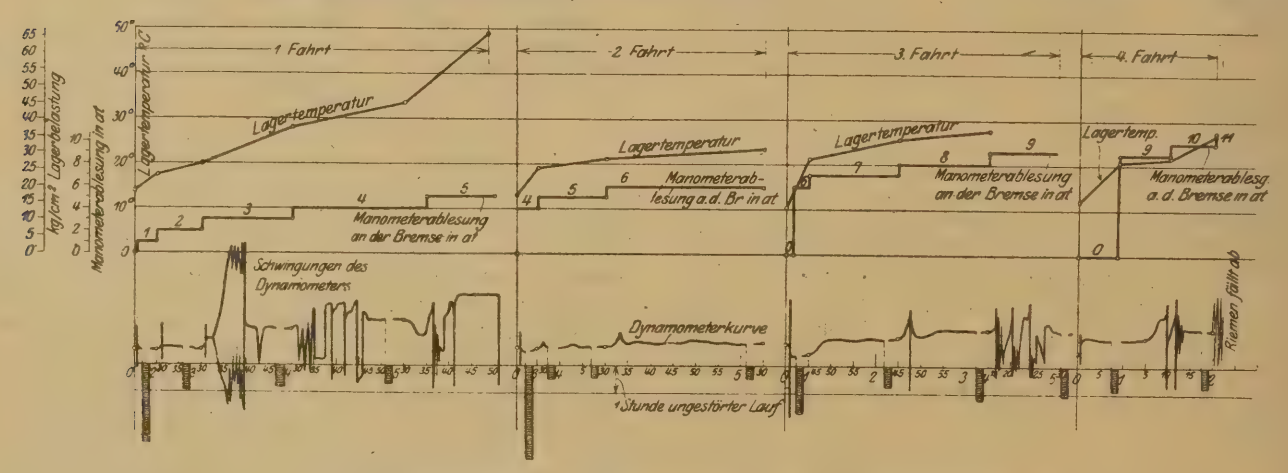


Abb. 2. Dynamometerkurve der Bronzebüchse 102. Schmierung mit Einheitsöl.

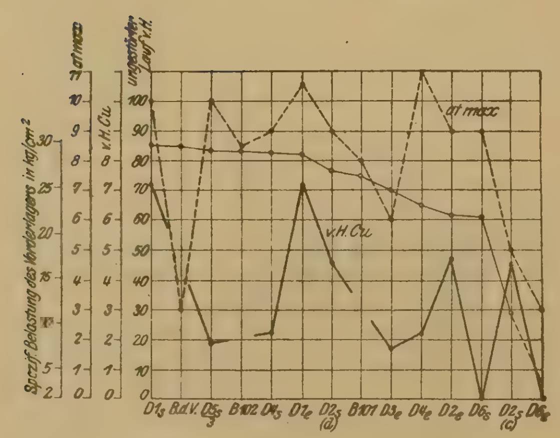


Abb. 3. Bewertung der Büchsen aus den Versuchsergebnissen.

Bruchproben mit den untersuchten Büchsen lieferten das überraschende Ergebnis, daß das Bruchgefüge der Zinklegierungen trotz verschiedener Gießart nicht deutlich verschieden, sondern in beiden Gruppen, sogar in verschiedenen Büchsen von gleicher Zusammensetzung und gleicher Gießart körnig und strahlig war, woraus mindestens auf die Schwierigkeiten des Gießens dieser Zinklegierungen geschlossen werden muß. Dieses Ergebnis blieb sogar bestehen, als nach Richtigstellung der ursprünglich eingelieferten falschen Büchsenbezeichnung die Versuchzahlen auf die richtigen Cu-Gehalte umgestellt wurden.

Zinklagerbüchsen für mittlere und niedere Drücke müssen danach vorteilhaft mit Sandkern gegossen und mit einem guten Öl geschmiert werden, ohne daß man aus der Höhe des Kupfergehaltes unter 6 vH Cu besondere Schlüsse ziehen kann. Die Zinkbüchsen dehnen sich bei Erwärmung in der Längsrichtung stärker als Bronzebüchsen aus, müssen demnach bei den feinen Passungen des Werkzeugmaschinenbaues mehr axiales

Spiel als Bronzebüchsen erhalten und versagen bei Überlastung, besonders bei Schmierung mit geringwertigem Öl plötzlich. Richtigen Guß und gutes Öl vorausgesetzt, können Zinklegierungen mit geringem Kupfergehalt, besonders bei 80 vH Cu, bei mittleren Drücken bis rd. 40 kg/cm² sehr wohl als Lagerbüchsen Verwendung finden. [R 1972]

Metallbearbeitung.

Der Ley-Härtofen.

Für die Warmbehandlung von Stahl sind Temperaturen von 500 bis 1150 °C erforderlich. Im allgemeinen wird ein Härtofen nur für einen bestimmten Zweck, somit auch für eine bestimmte Temperatur gebaut sein, was naturgemäß eine nur unvollkommene Ausnutzung der aufgewendeten Heizung mit sich bringt. Die Maschinenfabrik Rud. Ley A.-G. in Arnstadt hat deshalb einen neuen Härteofen, Abb. 4 bis 6, so ausgebildet, daß Warmbehandlungen, die verschiedene Temperaturen erfordern, gleichzeitig vorgenommen werden können.

Zwischen zwei Koksfeuerungen mit schmiedeisernen ausziehbaren Rosten liegt zunächst ein Arbeitsraum *a*, der gewöhnlich eine Temperatur von 900 °C erreicht. Werden höhere Temperaturen verlangt, so kann er durch Schieber *b* unmittelbar mit den Feuerräumen verbunden werden. Quer zu den Feuerungen wird der Ofen von den beiden Hauptarbeitsräumen *c* und *d* durchzogen. Herrscht im Raum *c* eine Einsatztemperatur von 950 °C, so tritt in *d* eine Härttemperatur von 800 bis 850 ° auf, oder bei 800 ° in *c* eine für das Nachglühen von Chromnickelstahl geeignete Temperatur von 600 ° in *d*. Die beiden Räume sind von beiden Seiten zugänglich. Durch geeignete Stellung der verschiedenen Schieber kann auch die Temperatur in der Längsrichtung dieser beiden Räume verschieden gehalten werden. Unmittelbar über den Feuerungen liegen die beiden Arbeitsräume *e* und *f* mit der höchsten Temperatur von rd. 1150 °C. In der Rückseite des Ofens sind die verschiedenen Züge des Ofens mit den Schiebern *g* vereinigt.

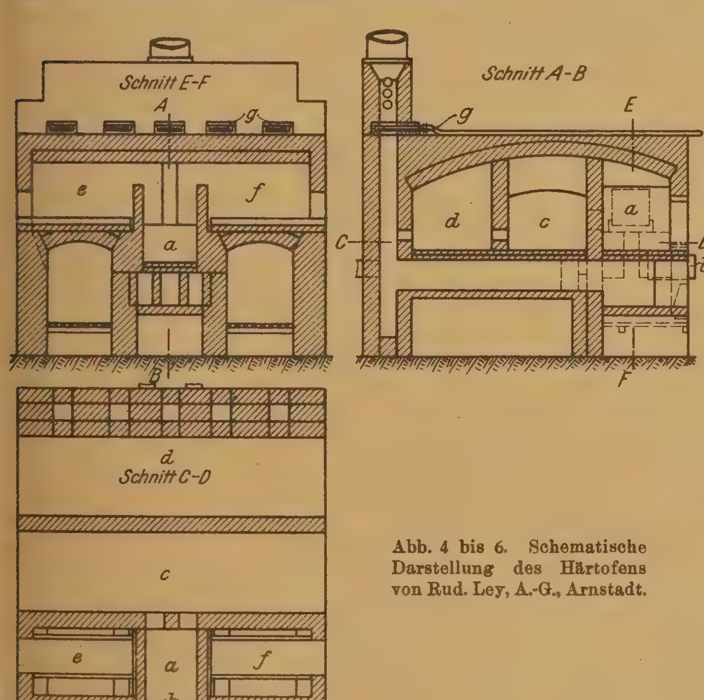


Abb. 4 bis 6. Schematische Darstellung des Härtofens von Rud. Ley, A.-G., Arnstadt.

Der Ofen arbeitet mit natürlichem Zug, ist also von jeder Kraftanlage unabhängig. Für mittlere Betriebe betragen die Hauptabmessungen: Breite 2,5 m, Tiefe 2,6 m und Höhe 1,8 m; Grundfläche 6,5 m². Dabei erhalten die einzelnen Arbeitsräume folgende Abmessungen:

	Breite	Länge	Höhe
Arbeitsraum *a*	0,43	0,70	0,43
„ *c* und *d* . . .	0,64	2,5	0,55
„ *e* „ *f* . . .	0,27	0,935	0,27

Der Gesamtarbeitsflächenraum beträgt rd. 3,75 m², die Rostfläche 0,06 m². Das Gewicht der Schiebetüren der Arbeitsräume ist durch Gegengewichte ausgeglichen. Das Anheizen erfordert für eine Einsatzwärme von rd. 900 ° drei Stunden. In einer achtstündigen Arbeitschicht können alle Härt-, Glüh- und Einsatzarbeiten ausgeführt werden. Dabei werden rd. 350 kg Koks verbraucht. Die Wirtschaftlichkeit des Zusammenfassens verschiedener Öfen zeigt das Ergebnis aus einer mittleren Automobilfabrik, die mit drei Koksöfen, zwei Gasöfen und einem Ölofen die vorliegenden Arbeiten teilweise nur mit Überstunden erledigen konnte und für die Koksöfen täglich rd. 1000 kg Koks verbrauchte. Mit einem Ley-Ofen konnte der gleiche Bedarf in nur drei Tagesschichten in der Woche erledigt werden. Die Betriebskosten sanken infolge besserer Wärmeausnutzung und Fortfalles des Kraftverbrauchs für die Gebläse auf rd. 1/10. [1980] Fr.

Eisenbahnwesen.

Bewährung der eisernen Personenwagen im Betriebe der Deutschen Reichsbahn.

Über die Erfahrungen, die die deutsche Reichsbahnverwaltung mit den seit einigen Jahren in Betrieb befindlichen eisernen Personenwagen[1]) gemacht hat, berichtet Regierungsbaurat Speer in Glasers Annalen vom 1. September 1923. Die von Gegnern der eisernen Personenwagen hervorgehobenen Nachteile gegenüber den hölzernen Wagen haben sich im Betriebe nicht bemerkbar gemacht.

Besonders verbreitet ist die Annahme, daß das Innere der eisernen Personenwagen gegen Wärmeeinflüsse sehr schlecht geschützt sei. Dagegen spricht aber schon die einfache Überlegung, daß die Wagen ja nicht vollständig aus Eisen bestehen, sondern daß nur die tragenden Teile, deren wärmeleitende Breite außerordentlich gering ist, durch Eisen ersetzt worden sind. Jahrelange Erfahrungen haben nunmehr bewiesen, daß z. B. im Winter der Dampfverbrauch für die Heizung nicht größer als bei hölzernen Wagen ist. Bezüglich der Unterhaltung haben sich für hölzerne Wagen bei gleichem Lebensalter höhere Kosten als für eiserne ergeben. Selbst bei Wagen, die schon 15 Jahre in Betrieb waren, brauchte man noch keinen Teil wegen Rostens zu ersetzen. Schlimmstenfalls mußte nach einer Reihe von Jahren der Anstrich erneuert werden. Die Befürchtungen in bezug auf den Lauf wurden ebenfalls durch die Tatsachen widerlegt. Unangenehme Geräusche sind nicht stärker als bei hölzernen Wagen aufgetreten.

Für die sehr hohe Widerstandsfähigkeit der eisernen Personenwagen zeugte neben Berechnungen und Probebelastungen besonders ein schwerer Unfall. Bei etwa 50 km/h Geschwindigkeit entgleiste die Lokomotive eines Zuges, der aus einem Post- und Gepäckwagen, 2 Personen- und 9 Güterwagen bestand. Der dritte Wagen, der durch eine durchgehende Bremse mit den beiden ersten Wagen verbunden war, war ein zweiachsiger Durchgangwagen vierter Klasse der neuesten eisernen Bauart der Deutschen Reichsbahn. Die Lokomotive kam mit den ersten drei Wagen auf etwa 30 m Entfernung zum Halten. Die nicht gebremsten Güterwagen liefen mit voller Wucht auf den eisernen Wagen auf. Im Gegensatze zu den Güterwagen, die schwer beschädigt wurden, waren bei dem eisernen Wagen die Beschädigungen sehr gering. Nur eine Ecksäule war verbogen, der Endspriegel zerstört und der Drehflügel der Eingangstür beschädigt. Untergestell, Seitenwände, Dach und Obergurt hatten gut standgehalten. Nur ein Endfeld des Bekleidungsbleches war leicht verbeult. Die Nieten hatten sich nicht gelockert. Bis auf einen leicht nach oben gebogenen Längsträger war das Untergestell frei von Beschädigungen. Ebenso hat sich der Wagenkasten sehr widerstandsfähig gezeigt. Der vollbesetzte Wagen wies in den Inneneinrichtungen keine Beschädigung auf, verletzt war niemand. Dagegen waren bei den vor ihm laufenden hölzernen Wagen die Stirnwände vollständig eingedrückt. Als besonders günstig erwies sich die kräftige Eckverbindung. Obwohl das starke Kopfstück so hoch beansprucht worden war, daß es sich durchbog, waren die Ecken und die Längsträger vollständig unversehrt. [M 38] Sd.

Elektrotechnik.

Doppelkopfisolator, Bauart Motor.

Von neueren Hochspannungsisolatoren[1]) ist der von der Porzellanfabrik Rosenthal gebaute Doppelkopfisolator, Abb. 7, zu erwähnen, der nach seiner Ausbildung durch die Motor-A.-G. in Baden, Schweiz, unter der Bezeichnung Motorisolator bekannt geworden ist. Dieser Isolator ist gekennzeichnet durch einen langgestreckten Rumpf, einen oberen metallischen Schutzschirm und einen unteren Porzellanschirm. Beide Kappen sind mit einer Bleilegierung auf dem Porzellan befestigt. Auch eine Befestigung mit Zement würde zulässig sein, da das Material mit geringerer Wärmedehnung, das Porzellan, innen liegt. Der Porzellanrumpf ist auf Zug beansprucht; die Beanspruchung bleibt durchaus in zulässigen Grenzen; denn es wird eine geeignete Porzellanmasse von 5000 bis 7000 kg/cm² Bruchfestigkeit benutzt.

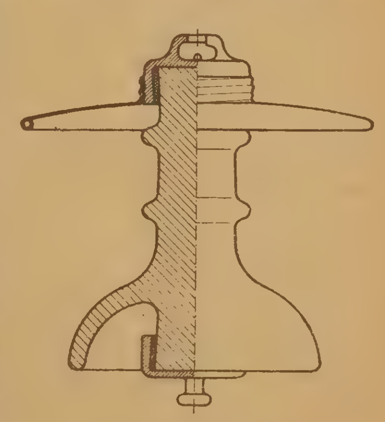


Abb. 7. Doppelkopfisolator der Porzellanfabrik Rosenthal.

Dieser lange Doppelkopfisolator ist vollkommen durchschlagsicher, da bei entsprechend hohen Überspannungen stets vor einem Durchschlag ein Überschlag auftreten muß. Der Schutzschirm verhindert leichte Beschädigung durch Steinwürfe. Das einzelne Isolatorglied ist aber wohl teurer als einer der üblichen niedrigen Kappenisolatoren und wegen des höheren Preises von Porzellan die ganze Kette teurer als eine gleich lange Kette niedrigerer Glieder mit Verbinderbolzen. Von diesen führt Rosenthal übrigens den sogen. Kegelkopfisolator aus, dessen Konstruktion der des V-Isolators[1]) ähnlich ist. [R 2092]

[1]) Vergl. Z. Bd. 65 (1921) S. 550.

[1]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 164, Bd. 67 (1923) S. 292.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7. Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Graphische Dynamik. Von Ferdinand Wittenbauer †, Prof. a. d. Techn. Hochschule Graz. Mit 745 Abb. Berlin 1923, Julius Springer. Preis Gm. 18.

Dieses Buch bedeutet nicht ein technisches Lehrbuch mehr in der Reihe der bestehenden; es ist das Ergebnis der Lebensarbeit eines genialen, viel zu früh dahingegangenen Mannes, und es bildet die Grundlage einer neuen Wissenschaft.

Kein Statiker könnte sich heute die Ausübung seiner Tätigkeit vorstellen ohne Verwendung der graphischen Statik. Viele Probleme der Dynamik werden seit Radinger nicht anders als mit graphischen Verfahren bearbeitet; diese Verfahren wurden aber bisher angewendet ohne planmäßigen Zusammenhang, nur für den Einzelfall zugeschnitten, nicht für allgemeinen methodischen Gebrauch verwendbar. Wittenbauers Verdienst ist es, daß er zu diesen graphischen Verfahren viele aus eigener langjähriger Forschung geschaffene neue Verfahren gefügt und das Ganze zu einer selbständigen Wissenschaft — der graphischen Dynamik — zusammengeschweißt hat. In einem Jahrzehnt wird jeder Maschineningenieur wenigstens die Grundlagen dieser neuen Wissenschaft beherrschen müssen, weil sie das notwendigste Werkzeug für seine Arbeit sein wird.

Ehe auf den Inhalt des Werkes eingegangen wird, möge der Verfasser selbst zu Wort kommen, indem einige Sätze aus seinem Vorwort angeführt werden, in denen er außerordentlich klar die Absicht ausgesprochen hat, die ihn bei der Bearbeitung geleitet hat:

„Das vorliegende Buch ist die Frucht langjähriger Forschung. Veranlaßt wurde diese durch die Erkenntnis, daß die analytische Mechanik, so vollendet auch ihr klassisches Gebäude vor uns stehen mag, nicht die Mittel besitzt, um eine Reihe von Fragen, mit denen sich der Maschineningenieur zu beschäftigen hat, bis in ihre letzten Folgen zu beantworten."

„Es ist nicht richtig, wenn behauptet wird, daß sich das Interesse der Ingenieure auf die Kenntnis der Geschwindigkeiten beschränkt und die Beschleunigungen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Wie wichtig tatsächlich die Ermittlung der Beschleunigungen und der infolge davon auftretenden Massendrücke werden kann, ergibt sich aus dem Umstande, daß z. B. bei Nockensteuerungen Beschleunigungen von 2000 m/s^{-2} auftreten können. Die Beschleunigungen spielen nur deshalb diese untergeordnete Rolle, weil man meistens keinen einwandfreien Weg gekannt hat, sie zu finden, denn die Ermittlung der Beschleunigungen aus den Massen und Kräften muß auf den Lehren der Dynamik aufgebaut sein, und diese für Getriebe einwandfrei anzuwenden, besaß man eben keine Möglichkeit. Die analytische Dynamik lieferte wohl mehr oder weniger verwickelte Gleichungen, ließ aber den Ingenieur in dem Augenblicke im Stich, in dem die rechnerische Ausbeutung dieser Gleichungen beginnen sollte. Dem Ingenieur ist mit solchen oft unlösbaren Gleichungen nicht gedient, er darf nicht unterwegs stehen bleiben und die weitere Lösung dadurch erzwingen, daß er unbequeme Glieder in den Gleichungen vernachlässigt. Er muß schließlich das Resultat seiner Untersuchung in gebrauchsfertigen Zahlen erhalten, nicht in Differentialgleichungen und er muß für diesen Weg eine Methode besitzen, die ihm gestattet, alle Bedingungen der gestellten Aufgabe zu erfüllen und nichts zu vernachlässigen."

„Die für unseren Zweck grundlegende Aufgabe lautet nämlich so: Von einem Getriebe allgemeinster Art sind die treibenden Kräfte und hindernden Widerstände, sowie die gesamte Massenverteilung gegeben; es ist der Gang des Getriebes, also die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen seiner Punkte zu ermitteln. Bei Lösung dieser Aufgabe versagt die Rechnung vollkommen, wenn man nicht etwa die Aufstellung einer Unzahl verwickelter Gleichungen als Lösung ansehen will; die graphische Methode führt jedoch auch hier zum Ziel und liefert schließlich Zahlen, die allein imstande sind, die gestellten Fragen restlos zu beantworten."

„Man bedurfte, um dynamische Aufgaben des Maschinenbaues bis zur Lösung durchzuführen und die fertigen Zahlen dem Ingenieur zu überliefern, eines systematischen Lehrgebäudes, das, von den einfachsten Grundsätzen der Mechanik ausgehend, bis zu den kompliziertesten Fragen der Maschinendynamik fortschreitet.

Von dieser Absicht geleitet, wurde das vorliegende Buch geschrieben. Es will die graphische Dynamik in derselben Weise in die Ingenieurkreise einbürgern, wie es der graphischen Statik seit geraumer Zeit gelungen ist. Wie diese die Berechnung statischer Bauwerke großenteils verdrängt und durch die zeichnerische Behandlung ersetzt hat, so will die graphische Dynamik etwas Ähnliches auf ihrem Gebiete leisten. Aber sie will noch weiter gehen; sie soll nicht nur für die Zwecke der Maschineningenieure verfaßt sein, sie soll überhaupt die ebene Bewegung in zeichnerischer Behandlung vorführen und zeigen, wie man auch auf dem Gebiete der theoretischen Dynamik auf einfache Weise und fast ohne jede Rechnung gestellte Aufgaben lösen kann. Dies ist auch der Grund, weshalb ich begründete Hoffnung hege, daß die graphische Dynamik innerhalb weniger Jahre an den technischen Hochschulen gelehrt werden wird."

„Eine mächtige Anregung in dynamischem Sinne hat die Radingersche Methode der Schwungradberechnung gegeben (vgl. J. Radinger, Über Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit, 3. Aufl., Wien 1892), da sie den Einfluß der bewegten Massen insoferne berücksichtigen, als sie wenigstens die Beschleunigungsdrücke der hin- und hergehenden Massen des Schubkurbelgetriebes in Rechnung stellte; freilich ist auch diese Lösung keine dynamische, sondern vorwiegend eine kinematische gewesen, da sie von der Voraussetzung einer konstanten Kurbelgeschwindigkeit ausging — von der man doch wußte, daß sie nicht konstant sein kann — und die gänzlich umgestaltet werden mußte, um zu einer wirklich dynamischen Lösung der Frage zu kommen. Aber die rasche Anerkennung und Verbreitung der Radingerschen Methode war ein deutlicher Beweis dafür, wie sehr der Ingenieur das Bedürfnis nach einer Dynamik empfand, die mit dem veränderlichen Einfluß der Masse zu arbeiten versuchte. In dieser Hinsicht war die Methode Radingers eine nicht genug zu schätzende Tat.

Um jedoch zu einer wirklich einwandfreien Lösung dieses und ähnlicher Probleme der Maschinentechnik zu gelangen, mußte das Lehrgebäude der Dynamik einer grundsätzlichen Umgestaltung unterzogen werden, die mit den Grundbegriffen der Mechanik einzusetzen und die reich gestalteten Getriebe der Maschinentechnik — eines nach dem andern, vom einfachsten bis zum verwickeltsten — einer systematischen dynamischen Untersuchung zu unterzeichnen hatte. Hier waren durch die ausgezeichneten Arbeiten O. Mohrs seit geraumer Zeit die notwendigen Grundlagen gegeben, von denen auch in diesem Buche der ausgiebigste Gebrauch gemacht wurde."

„Was den Inhalt des vorliegenden Buches betrifft, war der Verfasser bestrebt, so wenig wie möglich vorauszusetzen und alle Begriffe und Lehrsätze selbst kurz zu entwickeln. Was von den klassischen Sätzen der Mechanik benutzt wird, wie die „Prinzipien" derselben, ist das Prinzip der Bewegung des Schwerpunktes, das Arbeitsprinzip und insbesondere das grundlegende Prinzip d'Alemberts, das wurde an Ort und Stelle eingefügt, wo es zum erstenmal verwendet wurde, und zwar in einer Art, die besondere Vorkenntnisse unnötig macht. Auf diese Weise hoffte ich, das Studium auch demjenigen zu erleichtern, der die Hochschule schon lange Zeit verlassen hat."

„Die Grundlehren dieses Buches wurden bereits im Jahre 1904 in der Abhandlung: „Graphische Dynamik der Getriebe", Zeitschrift für Mathematik und Physik, Bd. 50, veröffentlicht; nur bedurfte es einer durchgreifenden Ausgestaltung und Verarbeitung, um die graphische Dynamik zur Einführung in Schule und Praxis geeignet zu machen."

Der Inhalt ist in zwei Hauptteile gegliedert. Der erste beschäftigt sich mit dem augenblicklichen Bewegungszustand eines Getriebes, nimmt also gewissermaßen ein Momentphotogramm der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Kräfte auf. Der zweite Hauptteil studiert den zeitlichen Verlauf der ganzen Bewegung eines Getriebes. Ein dritter Teil bringt Anwendungen auf die Praxis, darunter vollständige Untersuchung der Steuerung einer Großgasmaschine und die Ermittlung des Schwungradgewichtes nach einem neuen Verfahren, das keine Tangentialdruckdiagramme verwendet, das nicht mittlere Drehzahl voraussetzt, das die Massenverteilung des ganzen Getriebes ohne Vernachlässigung berücksichtigt und das auf jedes Getriebe anwendbar ist.

Unter den Abschnitten des ersten Hauptteils mögen besonders hervorgehoben werden: die Theorie der Ersatzpunkte, d. h. der Ersatzmassen, die der Masse des betreffenden Gliedes dynamisch gleichwertig sind, ferner die Abschnitte über den Beschleunigungszustand von Gelenkgetrieben, von Schiebergetrieben und von Kurvengetrieben sowie die Anwendung auf Steuerungen.

Der zweite Hauptteil bringt als wesentliche Abschnitte: Eigenschaften der Differential- und Integralkurven, kinematische und dynamische Diagramme, das Zeichnen von Diagrammen, Kurbeltriebdiagramme, wirkliche und gedachte Änderung der Masse während der Bewegung, Untersuchung einer Reihe von ausgeführten Getrieben.

Höchst gewissenhaft hat der Verfasser alle Mitarbeiter und Vorgänger genannt, trotzdem er vielfach einfachere und bessere Verfahren ersonnen hat als diese; es ist dies um so mehr hervorzuheben, als viele hervorragende Ingenieure in der Anerkennung ihrer Vorgänger sehr lässig sind zum Schaden des Ansehens der Ingenieurarbeit.

Die Darstellung arbeitet durchweg mit den anschaulichsten und durchsichtigsten Mitteln; das Werk ist darum für den Ingenieur, der an anschauliches Denken gewöhnt ist, sehr angenehm lesbar. Infolge der übersichtlichen Anordnung des Stoffes läßt sich für jedes Problem rasch die Lösung finden, zumal durch zahlreiche Hinweise das Zurechtfinden sehr erleichtert ist. Dem Ingenieur fallen auch die gut gezeichneten deutlichen Bilder auf im Gegensatz zu der flüchtigen Behandlung der Figuren in vielen anderen rein wissenschaftlichen Werken. Mit welcher Sorgfalt alle Einzelheiten bearbeitet sind, kann man daraus entnehmen, daß besondere Verzeichnisse der wichtigsten Gleichungen, der Bezeichnungen, der Verfasser und der Sachen beigefügt sind. Die Bezeichnungen sind einheitlich durchgeführt.

Kurz vor Vollendung der Drucklegung schied der Verfasser aus dem Leben, nachdem er fast zwei Jahrzehnte an dem Werk gearbeitet hatte. Er hat sich damit ein Denkmal gesetzt, das unvergänglich ist. Möge das Werk bald Verbreitung und Anwendung finden, die zur Förderung deutscher Ingenieurarbeit notwendig ist. [B 10]

Kammerer, Charlottenburg.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 8 SONNABEND, 23. FEBRUAR 1924 BD. 68

INHALT:

Neue Wege der Energiewirtschaft.

Von Dr. Löffler.

Vorgetragen in der Januar-Monatsversammlung des Berliner B.-V.

Heutige Ausnutzung der Brennstoffenergie — Beispiele aus dem Berg- und Hüttenwesen, der chemischen Industrie, dem Kraftfahrzeugbetriebe — Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Raschlauf, hohes Druck- und Temperaturgefälle — Beherrschung des Wärmezustandes, besonders durch die Kühlung — Reinheit der Wandungen, Verhütung des Wärmestaus — Dieselmaschinen für Lastfahrzeuge — Elektrische und mechanische Kraftübertragung bei Kraftwagen — Die Gas- und Ölturbine — Die Hochdruckdampfturbine — Hochdruckdampfkessel — Anwendung hohen Drucks und hoher Temperatur in der chemischen Industrie, Veredlung der Brennstoffe, Verflüssigung der Kohle — Grundlagen der modernen Hochdruckkonstruktionen — Überwachung des Hochdruckbetriebes — Anforderungen der Hochdrucktechnik an die Ingenieurausbildung.

Energiewirtschaft ist ein sehr vielseitiger Begriff, der eigentlich alles umfaßt, womit Technik und Industrie zu tun haben, und es ist unmöglich, ihre Anwendung auf alle Formen der Energie in einem Vortrag ausführlich zu behandeln. Von den verschiedenen Energiequellen ist heute die Brennstoffenergie die wichtigste. Neben ihr spielt die Ausnutzung der Wasser- und der Luftenergie, selbst in Ländern, wo Brennstoff in der Form von Kohle oder Öl nicht unmittelbar zur Verfügung steht, nur eine untergeordnete Rolle. Ich will mich daher in meinen Betrachtungen auf die Energie der Brennstoffe beschränken, die in Dampf- und Verbrennungsmaschinen zur Umwandlung in Bewegungs- und Formänderungsarbeit und in elektrische Energie auf allen Gebieten der Technik in umfangreichster Weise ausgenutzt wird.

Die Energiewirtschaft wird im allgemeinen nach dem Grade der Wärmeausnutzung des Brennstoffs beurteilt. Vielfach legt man dabei als Maßstab nur die Wärmeausnutzung in der Wärmekraftmaschine zugrunde und beurteilt die gesamte Energiewirtschaft nach dem in der Wärmekraftmaschine erreichten Brennstoffwirkungsgrade. Hiernach ist die Güte der Wärmeausnutzung im allgemeinen sehr bescheiden. Im Mittel setzen wir in unsern Wärmekraftmaschinen nur etwa 10 bis 30 vH der Brennstoffenergie in Nutzarbeit um; ja manchmal ist es noch wesentlich weniger, wie im Lokomotivbetriebe, wo im Mittel nur 5 vH der Brennstoffenergie in Zugarbeit umgewandelt werden. Die vollkommensten Wärmekraftmaschinen sind heute die Dieselmaschinen, in denen wir im Mittel 35 vH Wärmeausnutzung erreichen.

Diese Zahlen gelten allerdings ohne Ausnutzung der Abwärme, die beispielsweise bei Verbrennungsmaschinen noch in den Abgasen oder im Kühlwasser enthalten ist. In neuerer Zeit ist man bestrebt, die Abwärme nach Möglichkeit auszunutzen, doch ist dies in wirtschaftlicher Weise nur bei großen Anlagen möglich, da im allgemeinen nur geringe Temperaturgefälle zur Verfügung stehen, welche große Wärmeaustauschflächen und damit teure Abwärmeanlagen erfordern.

Die Beurteilung der Energiewirtschaft nach dem Brennstoffwirkungsgrade der Wärmekraftmaschinen ist aber unzureichend und einseitig, denn meistens ist die Brennstoffausnutzung in der Maschine nicht allein entscheidend für die Wirtschaftlichkeit, vielmehr sind dafür oft Nebenumstände, wie Verluste in den Leitungen, Schwierigkeiten der Brennstoffbeschaffung, Arbeiterverhältnisse, Betriebstörungen, Umfang, Kosten und Reparaturbedürfnis der Anlage von viel größerer Bedeutung.

Es ist bekannt, daß die Druck- und Wärmeverluste in den Rohrleitungen vom Kessel zur Dampfmaschine oft ein Vielfaches der zum Betrieb der Dampfmaschine erforderlichen Wärmeenergie verschlingen, daß in den weitverzweigten Druckluftleitungen von Bergwerken die Druckverluste einen sehr großen Teil der gesamten in der Luft zugeführten Energie ausmachen.

Jeder Automobilbesitzer weiß, daß die Kosten der Automobilhaltung oft zum geringsten Teil von der Güte der Automobilmaschinen oder vom Brennstoffverbrauch abhängig sind. Von viel größerer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Automobilbetriebs sind die Reifen- und Reparaturkosten, und noch viel wichtiger kann der Umstand werden, ob der Kraftwagen von einem guten oder einem schlechten Führer bedient wird. Unachtsames Fahren, unnützes Umschalten und Bremsen, stoßweises Überfahren von Hindernissen usw. kann die Wirtschaftlichkeit des Automobilbetriebs außerordentlich schädigen.

Wer in Hüttenwerken die zahlreichen Öfen, die Dampfhämmer, Walzvorrichtungen usw. beobachtet hat, der weiß, welche Energiemengen durch Mängel und Undichtheiten an den Öfen, an Dampfzylindern, durch schlechte Isolierung und durch falsche Bedienung vergeudet werden. Dies hat z. B. dazu geführt, daß an Stelle von Dampf für den oft unterbrochenen Betrieb von Hämmern und Pressen Druckluft verwendet wird, die erst in elektrisch betriebenen Kompressoren erzeugt und dann unter Umständen vorgewärmt werden muß, damit man sie wirksam verwenden kann.

Die große Wärmeverschwendung, die bei vielen Öfen durch mangelhafte Ausführung, unzweckmäßige Wartung und überflüssige Erhitzung verursacht wird, hat in neuerer Zeit dazu geführt, elektrische Heizvorrichtungen für Schmiedestücke auszubilden (elektrische Essen, elektrische Nietenwärmer usw.), die trotz höher Stromkosten einen wirtschaftlichen und sehr bequemen Betrieb ergeben.

Ähnlich liegen die Verhältnisse in der chemischen Industrie, wo heute vielfach noch mit den primitivsten Vorrichtungen große Werte geschaffen werden und eine Wärmeverschwendung getrieben wird, die geradezu unbegreiflich erscheint. Es herrscht in vielen Betrieben ein stark konservativer Geist, der keine Änderung der Anlagen zuläßt, z. B. deshalb, weil die Arbeiter auf bestimmte Maschinen- und Apparateformen eingearbeitet sind und von Verbesserungen nichts wissen wollen. Ein besonders kennzeichnender Fall der gleichen Art liegt im Schiffsbetriebe vor, wo jede Veränderung der Betriebsweise auf größte Schwierigkeiten bei den Reedern stößt. Hier sind der Matrose, der einfache Maschinist die Maßgebenden, die allerdings auf weitem Meer mit Leib und Leben von der Zuverlässigkeit der Maschinen und Vorrichtungen abhängen.

Vielfach ist das wichtigste: es muß gearbeitet und geschafft werden. Beispielsweise muß eine bestimmte Zahl von Tonnen Kohle täglich im Bergwerk gefördert oder von Tonnen Eisen im Hüttenwerk erzeugt werden. Die Kosten spielten bis in die jüngste Zeit hinein nicht die ausschlaggebende Rolle, und besonders im Kriege war nur die Produktion maßgebend, nicht der Aufwand dafür, denn jeder Preis wurde gezahlt, wenn nur rechtzeitig und ordnungsgemäß geliefert wurde.

Eine derartige Energiewirtschaft können wir uns aber in der Zukunft nicht mehr leisten. Wir müssen sparsam wirtschaften und dürfen Naturschätze, wie Kohle, Öle und andre Brennstoffe, nicht nutzlos vergeuden, sondern wir müssen alles aufbieten, um mit den geringsten Kosten den größten Nutzen zu erzielen. Für jede Maschine ist der günstigste Betriebstoff zu suchen und die Wirtschaftlichkeit des Betriebs durch Ausnutzung auch der kleinsten Vorteile zu steigern.

Seit jeher herrscht zwischen den verschiedenen Energieformen in der Technik ein heftiger Kampf um die Herrschaft: zwischen Dampf und elektrischer Energie, zwischen Verbrennungs- und Dampfmaschinen, zwischen Kolbenmaschinen und umlaufenden Maschinen, ohne daß bis heute eine Entscheidung über die günstigste Energieform gefallen wäre. So hat man schon oft der alten Kolbendampfmaschine den Tod prophezeit zugunsten der modernen Dampfturbine, oder der Kolbenpumpe zugunsten der Schleuderpumpe, aber beide sind heute noch am Leben. Das hängt damit zusammen, daß die Eignung einer bestimmten Maschinenart von vielerlei Einflüssen abhängt, daß die Verwendungsmöglichkeiten sehr verschieden sind und jede Maschinengattung auf bestimmtem Gebiete günstigste Ergebnisse zeitigen

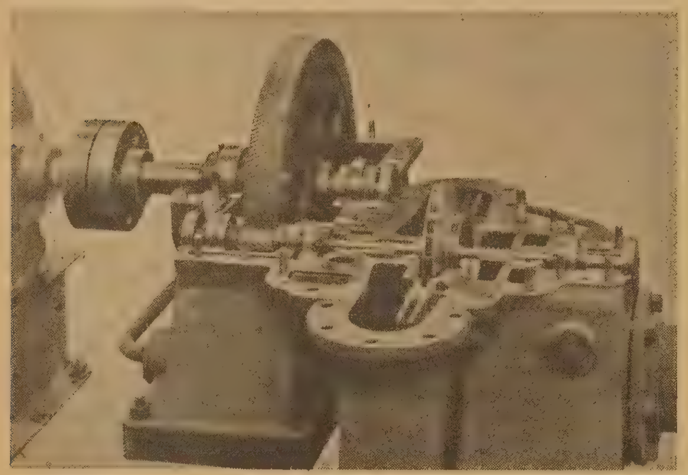


Abb. 1. Schnellaufender Turbokompressor von Brown, Boveri & Cie.

kann. Für die Wahl einer Maschine ist außer der Energieform eine ganze Reihe von Einflüssen, wie Betriebsicherheit, Einfachheit der Bedienung, Raum- und Gewichtsbeanspruchung, Reparaturbedürftigkeit, Anschaffungspreis und vieles andere, bestimmend.

Die neuzeitlichen Bestrebungen gehen dahin, die Wirtschaftlichkeit der Energieausnutzung durch Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit, durch Ausnutzung hoher Druck- und Temperaturgefälle und durch Vereinfachung des Betriebs zu verbessern. Schnellauf im Maschinenbetrieb ermöglicht kleine Abmessungen und geringe Gewichte, kleine abkühlende Oberflächen, kleine bewegte Massen, die trotz höherer Geschwindigkeit in der Regel geringere Bewegungsverluste ergeben als langsam bewegte große Massen. Mit den Durchmessern der Räder schnell umlaufender Maschinen werden auch die Radreibungswiderstände weitgehend verringert.

Die Vorteile des Raschlaufs treten besonders deutlich bei den Pumpen und Kompressoren für große Lieferungen in die Erscheinung. Schon in ältesten Zeiten hat man die für die Bergwerksbetriebe erforderlichen Luftmengen durch Ventilatoren gefördert, nicht durch Kolbengebläse, weil diese unausführbar große Abmessungen erhalten hätten. Selbst durch raschlaufende Kolbengebläse hätte man diese großen Mengen nicht bewältigen können. Aber erst als es gelungen war, durch stufenweise Aneinanderreihung raschlaufender Pumpenräder auch höhere Pressungen zu überwinden und eine wirkungsvolle Umsetzung von kinetischer Energie in Druckenergie durch Diffusoren und Leitapparate zu erzielen, hat die schnellumlaufende Pumpe ihre große Bedeutung erlangt und ein sehr umfangreiches Verwendungsfeld gefunden. Noch bis in die neueste Zeit hinein wurden jedoch in Bergwerken zur Erzeugung der Druckluft für die Druckluftwerkzeuge Kolbenkompressoren verwendet, welche Riesenabmessungen erhielten, daher schwer unterzubringen waren und große Kosten verursachten. Für große Leistungen und Liefermengen wird hier schon seit längerer Zeit der raschlaufende Turbokompressor vielfach verwendet. Aber auch für kleinere und mittlere Leistungen, für welche bisher der Kolbenkompressor vorherrschend war, beginnt der Turbokompressor sich neuestens einzuführen mit Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten, die jedes bisher erreichte Maß überschreiten. In Abb. 1 ist ein Turbokompressor von Brown, Boveri & Cie. dargestellt, der in einem kleinen Laufrad bei etwa 20 000 Uml./min und 250 m/s Umfangsgeschwindigkeit Pressungen bis zu rd. 0,5 at erzeugen kann, also mit einer geringen Zahl solcher Laufräder die für den Bergwerksbetrieb erforderlichen Pressungen von 7 bis 10 at erreichen läßt. Ein solcher Kompressor, unter Zahnradzwischenübersetzung elektrisch angetrieben, nimmt nur einen Bruchteil des Raumes eines gleichwertigen Kolbenkompressors ein, so daß die Aufstellkosten besonders unter Tag im Bergwerk wesentlich herabgesetzt werden können. Dabei erreichen diese einfachen Turbokompressoren isothermische Wirkungsgrade bis 60 vH, also ähnlich hohe wie die Kolbenkompressoren.

Schnellauf ist besonders im Kraftfahrzeugbetriebe von entscheidender Bedeutung, da das Gewicht der Maschine die Größe des Bewegungswiderstandes von Automobilen, im Schiffsbetriebe und von Flugzeugen wesentlich bestimmt.

Raschlauf verringert die Zeit, in der Abkühlungsverluste auftreten können, und die Mittel, um Raschlauf zu erzielen, wie besonders die Verwendung hochwertiger Baustoffe bei kleinen Abmessungen, sind auch wesentlich für die Möglichkeit, das Druck- und Temperaturgefälle wirksam zu erhöhen. Die Güte der Energieausnutzung steigt im allgemeinen mit der Höhe des Arbeitsdrucks und der Temperatur. Das Verbrennen verdichteter Brennstoffluftgemische ist wirkungsvoller und wirtschaftlicher als das von unverdichteten, Verbrennen bei hoher Temperatur günstiger als bei niedriger. Hohe Wärmeausnutzung verlangt stets einen hohen Wärmezustand und Raschheit der Verbrennung. Ist für einen bestimmten Brennstoff der günstigste Betriebszustand einreguliert, dann muß der so festgelegte Wärmezustand möglichst gleichbleibend aufrechterhalten werden, insbesondere an den Stellen des Verbrennungsraums der Maschine, wo die höchsten Temperaturen auftreten. Jede Störung des Wärmezustandes ergibt Verschlechterung des Betriebs und Verluste. Hier können einige Beispiele klärend wirken: Die kleinen raschlaufenden Automobilmaschinen, in welchen in der Regel leichtflüchtige flüssige Brennstoffe, wie Benzin und Benzol, verbrannt werden, haben eine vorzügliche Wärmeausnutzung, vor allem aus dem Grunde, weil sich bei ihnen die Wärme durch gute Gemischbildung und rasche Verbrennung ausgezeichnet innerhalb kleiner Verbrennungsräume konzentrieren läßt, so daß ein hoher Wärmezustand für kurze Zeit sicher aufrechterhalten werden kann und sich wegen der kleinen Abkühlflächen des Verbrennungsraums geringe Wärmeverluste ergeben. Je größer die Verbrennungsräume von Verbrennungsmaschinen sind, um so schwieriger ist es, ein vollkommenes Gemisch zu erzeugen, die Verbrennung gleichmäßig und rasch durchzuführen und dauernd auch günstigen Wärmezustand zu erhalten.

Selbstverständlich spielen bei allen diesen Arbeitsfragen die Art des Brennstoffs, das Arbeitsverfahren und die Bauart der Maschine eine wichtige Rolle. Es ist allgemein bekannt, daß in der Dieselmaschine durch das hohe Verdichtungsgefälle bei wirksamer Einspritzung des flüssigen Brennstoffes ein hoher Wärmezustand und rasche Verbrennung unter Ausschaltung jeder Gefahr ungewollter Selbstzündung und damit selbst bei Verwendung minderwertiger Treiböle eine hohe Wärmeausnutzung erreicht wird.

Die Wärmeausnutzung ließe sich bei der Dieselmaschine noch wesentlich steigern, wenn es gelänge, ihre Betriebsgeschwindigkeit erheblich zu erhöhen. Auf der letzten Automobilausstellung in Berlin, im Herbst 1923, war ein Lastkraftwagen der Daimler-Motoren-Gesellschaft in Berlin-Marienfelde als Omnibus für Personenverkehr im Betriebe zu sehen. Dieser Wagen war mit einem etwa 40pferdigen 4zylindrigen Dieselmotor mit Lufteinspritzung ausgestattet, der normal mit 800 bis 1000 Uml./min betrieben wurde. Der Motor soll auf dem Prüfstande auch noch bei 1600 Uml./min einwandfrei gearbeitet haben. Es war mir aber nicht möglich, festzustellen, wie weit dieser Motor den Anforderungen praktischen Dauerbetriebs bei günstigem Brennstoffverbrauch zu entsprechen vermochte, insbesondere ob er einen einwandfreien Betrieb im Leerlauf und bei kleineren Belastungen gestattete. Bemerkenswert ist, daß dieser kleine Dieselmotor mit Einspritzluft betrieben wurde und daß der Einspritzkompressor bei den hohen Drehzahlen einwandfrei arbeitete, was sicher nur dadurch ermöglicht wurde, daß die Kompressorventile winzigsten Hub bei hohen Spaltgeschwindigkeiten hatten.

Die Einführung der Dieselmaschine in die Nutzfahrzeugtechnik hängt einzig und allein davon ab, ob es gelingen wird, die außerordentlich kleinen Brennstoffmengen, die für das Arbeitsspiel jedes Zylinders erforderlich sind, gleichmäßig und einfach genug zu verteilen sowie für die verschiedenen Belastungsstufen sicher zu regeln. Ob es gelingen wird, die Einspritzung bei hohen Drehzahlen auch ohne Einspritzluft, nur durch Überdruck mittels der Einspritzpumpwirkung, sicher zu erzielen, kann nur durch Versuche klargestellt werden.

Die neueste Entwicklung der Dieselmotoren für kleine und mittlere Leistungen neigt bekanntlich zu Ausführungen ohne Einspritzluftkompressor; es wird behauptet, daß der Brennstoffverbrauch solcher Dieselmaschinen sogar wesentlich günstiger sei als der von Maschinen mit Einspritzdruckluft. Ausreichende Versuche hierüber sind noch nicht veröffentlicht worden. Der-

artige Versuche an schnellaufenden Verbrennungsmaschinen sind schwierig und geben leicht dadurch Anlaß zu Trugschlüssen über den Wärmeverbrauch, daß im Schnellauf erhebliche Mengen von Schmieröl nach dem Verbrennungsraum gelangen und mitverbrennen können. Getrennte Messung des Brennstoff- und Schmierölverbrauchs ist daher bei solchen Untersuchungen unbedingt notwendig.

Die nächste Entwicklung des Kraftfahrzeugbetriebs wird wohl dahin gehen, daß für Personen- und Luxusfahrzeuge möglichst hochwertige, leichtflüchtige Brennstoffe, wie Benzin und Benzol, für Nutzfahrzeuge aber Schweröle in immer steigendem Maße verwendet werden. Für das Personenautomobil sind vor allem Kleinheit der Maschine, Raschheit und Einfachheit des Betriebs, geringes Wartungs- und Reparaturbedürfnis von Bedeutung, während die Kosten des Brennstoffs weniger schwer ins Gewicht fallen. Freilich, den Besitz und Betrieb eines Personenkraftwagens werden sich in unserm armgewordenen Europa und vollends in Deutschland noch auf lange Zeit hinaus nur wenige Reiche gestatten können. Beim Nutzfahrzeugbetrieb liegen die Verhältnisse anders. Auf Lastkraftwagen für Industrie und Handel, auf Fahrzeugen für die Landwirtschaft, auf Motorpflügen u. a., ferner auf Booten und Schiffen muß es meist schon der Feuersgefahr wegen vermieden werden, größere Mengen leichtflüchtigen Brennstoffs mitzuführen. Hier wird der Schwerölmotor ein dankbares Verwendungsfeld finden.

Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs läßt sich auch durch Verbesserung und Vereinfachung der Betriebsführung erzielen. In diesem Zusammenhange sollte man es vermeiden, vielstufige Energieumformungen vorzunehmen, vielmehr trachten, mit einfachsten Umformungen auszukommen. Wenn es z. B. gelänge, aus der Kohle unmittelbar elektrische Energie zu erzeugen, so wäre dies ein außerordentlicher Fortschritt gegenüber der Umwandlung der in der Kohle enthaltenen Wärmeenergie zunächst in Dampf und dann erst in elektrische Energie. Könnte man die Verbrennungsmaschine für Fahrzeugbetrieb so einfach und in ihrer Regulierungswirkung so elastisch gestalten, daß sie sich unmittelbar, ohne Kraftübertragungsmittel, und in wirtschaftlicher Weise an die Belastungs- und Geschwindigkeitsänderungen des Fahrzeugs anpassen würde, dann wäre auch dies eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung gegenüber dem heutigen Betriebszustande. Aber selbst wenn die Verbrennungsmaschine mit einem Zwischengetriebe auf die Hinterräder eines Kraftwagens wirkt, kann durch vollkommene Ausbildung des Zwischengetriebes und besonders durch Vereinfachung der Bedienung und der Schaltung der Betriebswirkungsgrad solcher Anlagen verbessert werden.

Bei den meisten Kraftfahrzeugen wird heute ein Zahnradschaltgetriebe mit mehreren, meistens 4 Schaltstufen verwendet. Die Umschaltung von einer zur andern Geschwindigkeitsstufe erfordert in der Regel das Verändern der Regulierung der Verbrennungsmaschine, das Abkuppeln und Abbremsen des Wagenlaufs und das allmähliche Überführen in den neuen Geschwindigkeitszustand, Handhabungen, die nur ein erfahrener und geübter Wagenführer ohne wesentliche Zeit- und Energieverluste beherrscht.

In neuerer Zeit strebt man deshalb dahin, den Wagenlauf durch selbsttätig wirkende mechanische Triebwerke oder durch elektrische Kraftübertragung dem Fahrwiderstande möglichst einfach und selbsttätig anzupassen.

Bisher ist die elektrische Kraftübertragung in der Weise angewendet worden, daß die Verbrennungsmaschine eine Dynamo antreibt und der in ihr erzeugte Strom unter entsprechender Schaltung in Elektromotoren geleitet wird, die die Wagenräder unmittelbar oder durch Zahnradübersetzung antreiben. Eine solche Kraftübertragung erfordert hohe Gewichte und Ausführungskosten, wodurch die Vorteile der einfacheren Schaltung und Bedienung aufgewogen oder gar ins Gegenteil gekehrt werden. Daher haben derartige elektrische Kraftübertragungen, die in Amerika auch im Schiffsbetrieb als Übersetzung zwischen raschlaufenden Dampfturbinen und langsamlaufenden Schiffsschrauben ausgeführt werden, für den Automobilbetrieb keine Bedeutung.

In den letzten Jahren ist von Amerika aus eine elektrische Kraftübertragung für Automobile mit Verbrennungsmaschine bekannt geworden, bei der die Leistung der elektrischen Kraftübertragungsteile: Dynamo und Motor, nur einen Bruchteil der Leistungsfähigkeit der Antriebsverbrennungsmaschine beträgt und trotzdem die Drehmomente, den verschiedenen Fahrwiderständen entsprechend, ausreichend sicher übertragen werden.

In Abb. 2 ist das Wesen der nach den Erfindungen von Entz und Crown ausgebildeten elektrischen Kraftübertragung dargestellt. Mit der Welle der Verbrennungsmaschine ist ein Drehgestell fest verbunden, welches die Feldmagnete trägt, während der zugehörige Anker des Stromerzeugers *G* mit dem Anker eines Elektromotors *M* und gleichzeitig mit den anzutreibenden Hinterrädern des Fahrzeugs unmittelbar gekuppelt ist. Das Feldgestell des Elektromotors ist mit dem Wagenaufbau fest verbunden. Dieses elektrische Triebwerk dient im Zusammenhang mit einer Akkumulatorenbatterie zum Anlassen der Verbrennungsmaschine, sowie zur Kraftübertragung bei verschiedenen Schaltstufen, ferner zum Bremsen des Wagenlaufs und zur Erzeugung des Beleuchtungsstromes. Beim Anlassen wird Akkumulatorenstrom in den Stromerzeuger *G* geleitet und dadurch ein Drehmoment erzeugt, welches die Welle der Verbrennungsmaschine in Bewegung setzt und den Betrieb der Verbrennungsmaschine einleitet. Allmählich übersteigt die von der Verbrennungsmaschine ausgehende Leistung die durch die Akkumulatoren vermittelte, und dadurch wird ein die Hinterräder antreibendes Drehmoment wirksam. Je größer die Relativgeschwindigkeit zwischen der mit den Hinterrädern gekuppelten Ankerwelle und dem mit der Welle der Verbrennungsmaschine fest verbundenen Feldgestell ist, desto stärker wird der Strom, den der Stromerzeuger an das mit dem Wagen verbundene Feldgestell des Motors liefert, und dadurch wird auch im Motor ein Zusatzdrehmoment erzeugt, welches zur Steigerung der Fahrgeschwindigkeit beiträgt. Hat schließlich die

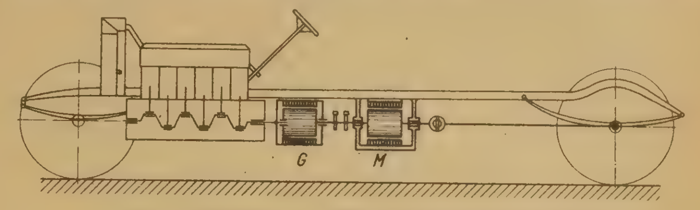


Abb. 2. Elektrische Kraftübertragung System Crown.

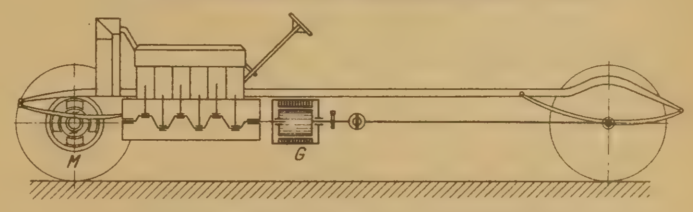


Abb. 3. Desgl. mit Motoren in den Vorderrädern.

Geschwindigkeit der Ankerwelle die Geschwindigkeit der Verbrennungsmaschinenwelle erreicht, dann wirkt der gesamte elektrische Maschinensatz nur noch als elektrische Kupplung, und hierdurch erklärt es sich, warum der elektrische Teil mit einem Bruchteil der Leistungsfähigkeit der Verbrennungsmaschine genügend wirken kann. Beispielsweise ist bei einem Wagen mit Sechszylindermaschine von 70 PS der elektrische Satz für eine mittlere Leistung von rd. 5 PS gebaut; es wird also bei dieser elektrischen Kraftübertragung eine ausreichende Wirkung mit wesentlich geringeren Gewichten erzielt als bei der bisher üblichen.

Die besonderen Eigenschaften der beschriebenen elektrischen Übertragung bedingen, daß sie sich wirtschaftlich nur für verhältnismäßig starke Kraftwagen mit Verbrennungsmaschinen von hoher Leistung ausführen läßt. Bei kleinen Leistungen wird das elektrische Getriebe, wenn man z. B. beim Fahren auf hohen Steigungen genügend große Übersetzungen erzielen will, verhältnismäßig zu schwer, das Gewicht der Kraftübertragungsteile und damit die Kosten zu hoch. Es ist hier nicht der Ort, auf weitere Einzelheiten dieser Kraftübertragung einzugehen, doch sei noch gesagt, daß in neuester Zeit beabsichtigt wird, den Motor *M* nicht unmittelbar hinter den Stromerzeuger *G* zu setzen, sondern ihn in zwei Teilen in die Vorderräder einzubauen und so in einfachster Weise Vierräderantrieb mit Vierräderbremsung zu erzielen, Abb. 3.

Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Kraftübertragung liegt darin, daß der Übergang von einer Schaltstufe zur andern durch Verstellung eines einfachen Handgriffs möglich ist, daß dabei keine Kupplungen ein- und auszurücken, keine Bremsen zu betätigen sind und eine Stufe sehr sanft und elastisch in die andre übergeht, so daß der Wagenlauf und besonders der Gang der Verbrennungsmaschine durch den Übergang in keiner Weise gestört wird. Die elektrische Schaltung gestattet außerdem, beim Fahren in der Ebene oder im Gefälle die Verbrennungsmaschine leicht auszuschalten und den Wagen nur durch seine Massenwirkung laufen zu lassen, ähnlich dem Freilauf bei Fahrrädern. Der Motor läßt sich dann durch die elektrische Kraftübertragung sofort stoßlos und sicher wieder in Gang setzen. Die Einfachheit dieser Übertragung und ihre besondere Wirkung gestattet eine wirtschaftliche Ausnutzung und weitgehende Schonung der Verbrennungsmaschine bei geringen Wartungs- und Reparaturkosten.

Abb. 4. Schema der selbsttätigen mechanischen Kraftübertragung.

Ähnliche Wirkungen und Vereinfachungen des Wagenbetriebs erstrebt man durch selbsttätige mechanische Kraftübertragungen. Bei jedem Kraftwagen sind die angetriebenen Hinterräder mit Rücksicht auf die durch die Fahrbahnunebenheiten verursachten Massenstöße unter Zwischenschaltung von Federn mit dem Wagengestell verbunden, Abb. 4. Bei jeder Energie-

änderung durch Vergrößerung oder Verkleinerung des Fahrwiderstandes W entstehen Relativbewegungen zwischen Wagengestell A und Hinterachse. Sinkt der Fahrwiderstand, so sucht das Wagengestell gegenüber der Hinterachse zurückzubleiben; steigt der Widerstand, so sucht es vorzueilen, und diese Bewegungsvorgänge kann man dazu benutzen, verschiedene Übersetzungen selbsttätig einzustellen. Beispielsweise kann man bei einem Wagen mit Reibgetriebe das eine Reibrad gegenüber dem andern verschieben, um die Übersetzung zu ändern, oder man kann auch veränderliche Zahnradübersetzungen einschalten mit Einstellvorrichtungen, wie sie etwa bei der Soden-Schaltung verwendet werden.

Französische Konstrukteure benutzen die erwähnte Relativverschiebung zwischen Hinterachse und Wagengestell zur Verstellung von Mechanismen, wie Taumelscheiben, die mit Freilaufkupplungen auf der Hinterachse verbunden sind, derart, daß bei Zunahme des Widerstandes W der Ausschlag der Taumelscheibe und damit die Wirkung des auf der Hinterachse angeordneten Freilaufs verkleinert wird. Durch die letzte Pariser Automobilausstellung ist besonders das Getriebe von de Lavaud bekannt geworden, das eine ganze Reihe von Freilaufkupplungen benutzt, um die gewünschte Zahl von Übersetzungen zu erzielen, Abb. 5.

In anderer Weise gehen deutsche Konstrukteure bei der Lösung dieses Problems vor; ich möchte besonders auf die Arbeiten von Obering. Schieferstein hinweisen, der schädliche Schwingungswirkungen in mechanischen Triebwerken zu vermeiden und Massenschwingungen zur Energieübertragung nutzbar zu machen sucht.

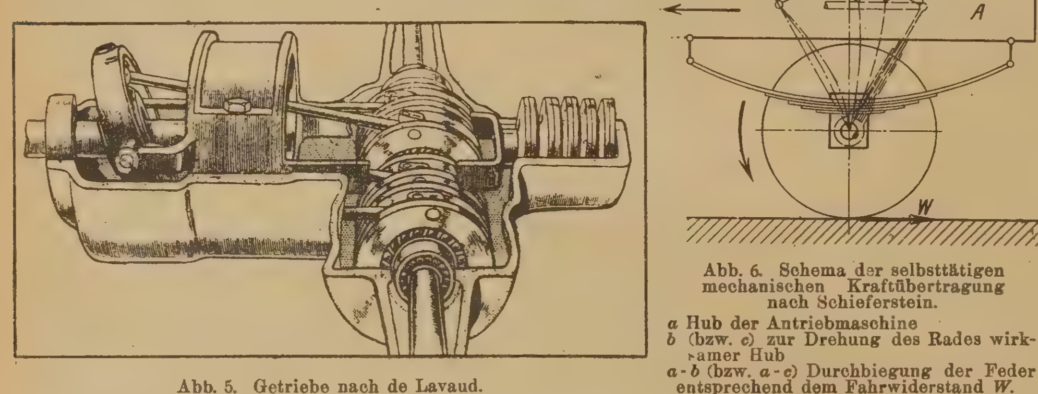


Abb. 5. Getriebe nach de Lavaud.

Abb. 6. Schema der selbsttätigen mechanischen Kraftübertragung nach Schieferstein.
a Hub der Antriebmaschine
b (bzw. c) zur Drehung des Rades wirksamer Hub
$a-b$ (bzw. $a-c$) Durchbiegung der Feder entsprechend dem Fahrwiderstand W.

Bei Kolbenmaschinen mit Kurbeltriebwerk und hin- und hergehenden Massen werden Massenkräfte und Momente periodisch wirksam, die unter Umständen zu gefährlichen Schwingungswirkungen führen können. Die Energieabgabe erfolgt in der Regel nicht gleichmäßig, und zum Ausgleich der Drehmomente pflegt man ein Schwungrad zu benutzen, dessen Schwungmasse von dem gewünschten Gleichförmigkeitsgrade der Geschwindigkeitsänderung durch die Abgabe und Aufnahme von Leistung bedingt ist. Die übliche Ausführungsform solcher Triebwerke mit wenig nachgiebigen Passungen in den Gelenken kann bei Abnutzung zu Stößen in den Totlagen des Triebwerks führen, die nicht nur Formänderungs- und Stoßarbeit ergeben und damit Energievergeudung bedeuten, sondern auch Betriebsstörungen und Brüche hervorrufen können.

Bei solchen Kolbenmaschinen findet eine Wechselwirkung zwischen der Energieaufnahme und -abgabe des hin- und hergehenden und des umlaufenden Massensystems mit den dabei unvermeidlichen Energieverlusten statt.

Schieferstein benutzt statt dessen das hin- und hergehende Massensystem allein dazu, Energieschwankungen auszugleichen. Zu diesem Zwecke werden die hin- und hergehenden Massen mit elastischen Mitteln verbunden und die Massenenergie periodisch in Federungsenergie umgesetzt, die bei ungleichmäßiger Energieabgabe den Energieausgleich bewirkt. Als elastische Mittel können Stahlfedern oder Gaskissen verwendet werden, die verdichtet und entspannt werden; beispielsweise könnte man bei bestimmten Kolbenmaschinen auch die Verdichtung des Treibmittels als Federungsmittel benutzen.

Beim Federsystem sind wesentlich geringere Möglichkeiten für Energieverluste vorhanden als bei dem erwähnten kombinierten System; in der Hauptachse sind das die elastischen Widerstände bei der Bewegung der Federn. Während bei dem alten System der Energieübertragung mit zwangläufig hin- und herbewegten und mit umlaufenden Massen beim Energieausgleich der Hub der hin- und herbewegten Massen stets konstant, aber die Drehzahl, also die Periodenzahl der Schwingung, entsprechend der veränderten Energieabgabe veränderlich ist, kann beim frei schwingenden Federmechanismus infolge des Energieausgleichs die Periodenzahl der Schwingung konstant bleiben und der Hub, und damit selbsttätig das Übersetzungsverhältnis zwischen antreibender und getriebener Welle, sich entsprechend den verschiedenen Widerständen ändern. Diese Eigenschaft frei schwingender Systeme kann bei Anwendung geeigneter Freilaufkupplungen dazu benutzt werden, einfache mechanische Kraftübertragungen z. B. für Kraftfahrzeugbetrieb zu schaffen, die, elastisch und mit großer Schonung der Antriebmaschine wirkend, selbsttätig veränderliche Übersetzungen zulassen, Abb. 6.

Zur Kennzeichnung der Schiefersteinschen Bestrebungen sei eine Anwendung erwähnt, welche es gestattet, die Betriebsgeschwindigkeit von schwungradlosen Wasserpumpen wesentlich zu erhöhen. Solche Pumpen werden als „Duplexpumpen" für Kesselspeisezwecke wegen ihrer Einfachheit und Betriebsicherheit noch vielfach verwendet, sind aber wegen ihrer geringen Hubzahl schwerfällig im Bau und damit teuer in den Anschaffungskosten. Kuppelt man die periodisch hin- und herbewegte Masse einer solchen Pumpe mit Federn, dann kann man die Hubzahl, bei vollständiger Beherrschung des Ventilspiels der Pumpe, ähnlich wie bei Pumpen mit Kurbeltriebwerk und Schwungradmasse wesentlich erhöhen.

Für eine wirtschaftliche Energieausnutzung durch Wärmekraftanlagen ist dauernd sichere Beherrschung des günstigsten Wärmezustandes wesentlich. Hierfür ist in den meisten Fällen der Wärmeübergang durch Wandungen in Form des Wärmeaustauschs zwischen einem heißeren und einem kälteren Mittel entscheidend, z. B. bei den Verbrennungsmaschinen die Kühlwirkung, bei Dampfkesseln die Heizwirkung. Den Wärmeübergang bei Wärmeaustauschvorrichtungen kann man aber nur dann zuverlässig beherrschen, wenn man die wärmeübertragenden Wände dauernd rein und die Bewegung der wärmetragenden Mittel stets gleichmäßig erhalten kann.

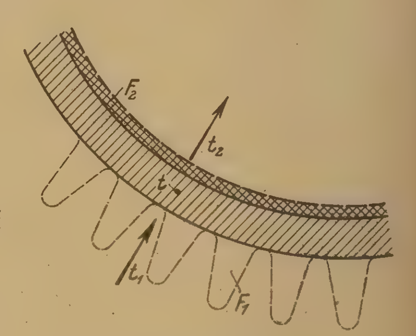


Abb. 7. Wärmedurchgang bei Wärmeaustauschvorrichtungen.

In der Regel handelt es sich darum, eine bestimmte Wärmemenge durch eine Metallwand hindurchzuführen, Abb. 7, wobei jeder Wärmestau in der Wand, also zu hohe Temperatur t, verhütet werden muß, damit die Betriebsicherheit der Wärmeaustauschvorrichtungen nicht verringert wird; denn Wärmestau in der Wand tritt dann ein, wenn die Strömung des kälteren Mittels irgendwie gestört wird und an der wärmeabführenden Wandseite (Temperatur t_2) weniger Wärme abfließt, als auf der heißen (Temperatur t_1) zugeführt wird. Dies kann geschehen, indem sich Verunreinigungen, z. B. Wasserstein, an der wärmeabführenden Seite ansetzen oder Dampfblasen daran hängen bleiben.

Wärmestau kann auch eintreten, wenn man den Wärmeübergang an der heißeren Wandseite wesentlich verbessert, z. B. wenn man die Wandoberfläche F_1 durch Anbringung von Rippen vergrößert, ohne daß man gleichzeitig der dadurch in die Wand eintretenden größeren Wärmemenge die Möglichkeit bietet, an der kühleren Seite längs der kleineren Fläche F_2 abzufließen. Ein Belag von schlechten Wärmeleitern auf der heißeren Wandseite, etwa von Ruß, Krusten oder dergl., verschlechtert nur die Wärmeabgabe an die Wand, ohne die Wand zu gefährden. Im Gegenteil wird dadurch der Wärmestau bei gleicher Wärmeabführung auf der kühleren Wandseite verringert.

Das wesentlichste ist, möglichst reines Wasser zu verwenden, damit kein Schlamm und keine Krusten abgeschieden werden, und für wirksamen Wasserumlauf zu sorgen, damit sich an keiner Stelle Dampfblasen festsetzen und den Wärmeübergang verschlechtern können. Schon ein dünner Ansatz von Wasserstein innerhalb der Kühl- oder Heizräume kann gefährlichen Wärmestau in den Wandungen und schließlich Risse und Brüche herbeiführen. Dies ist nicht nur wichtig für die Kühlvorrichtungen bei Verbrennungsmaschinen, sondern z. B. auch für Kompressoren und Vakuumpumpen, für die Destillations- und Dephlegmationseinrichtungen der chemischen Industrie, für Dampfkessel und viele andere Wärmeaustauschvorrichtungen.

Es ist schwer begreiflich, aber Tatsache, daß es heute noch große Anlagen gibt, deren Verbrennungsmaschinen mit dem für technische Zwecke gerade zur Verfügung stehenden, meist unreinen und harten Wasser gekühlt werden. Zahlreiche Brüche von Köpfen, Deckeln und Zylindern solcher Maschinen sind die Folge der Abscheidung von Wasserstein, besonders an den Wänden und den Durchdringungsstellen des Verbrennungsraums, wo der Wärmestau sofort gefährliche Überbeanspruchungen der Wandungen hervorruft. Die Kosten einer einfachen Wasserreinigungsanlage sind gegenüber den Kosten, die der Ersatz gebrochener

Maschinenteile verursacht, verschwindend klein, namentlich dann, wenn man in Verbindung mit der Wasserreinigungsanlage eine Rückkühlvorrichtung für das heiße Kühlwasser verwendet, so daß man nur das verdunstende Wasser durch gereinigtes zu ersetzen braucht.

Sehr schlimm sieht es in dieser Hinsicht vielfach in der chemischen Industrie aus, wo von der Wirkung der Kühlvorrichtungen die sichere Beherrschung wichtiger chemischer Reaktionen in hohem Maße abhängt und schon geringfügige Änderungen in den Temperaturverhältnissen oft schwerwiegende Störungen der Erzeugung hervorrufen. In einem von mir besichtigten Betriebe wurde für die Kühlung von Destillatoren und Dephlegmatoren so schlammhaltiges Wasser verwendet, daß schon nach eintägigem Betrieb deutliche Schlamm- und Wassersteinablagerungen eintraten und ständig Reparaturkolonnen unterwegs waren, um die Kühleinrichtungen zu bewachen.

Hohe Ablauftemperatur des Kühlwassers läßt nicht ohne weiteres auf Wärmestau in den Wandungen schließen, besonders, wenn dieser durch das Ansetzen von Krusten verursacht worden ist. Im Gegenteil ist eher kälter ablaufendes Kühlwasser ein Zeichen eingetretenen Wärmestaues. Einwandfreie Feststellungen während des Betriebs lassen sich nur durch Temperaturmessungen innerhalb der Wand selbst treffen, Messungen, die in der Regel große Schwierigkeiten bereiten und häufig praktisch unausführbar sind. Daher ist um so mehr auf die Verwendung reinen Kühlwassers zu achten.

Das Bestreben, Vergasermaschinen für den Kraftfahrzeugbetrieb mit minutlichen Drehzahlen von 4000 bis 6000 auszubilden, wird nur dann zu der beabsichtigten Verbesserung der Wärmeausnutzung führen, wenn man den Betrieb ohne nennenswerte Störungen beherrschen kann. Schon geringe Veränderungen des Wärmezustandes können bei diesen hohen Betriebsgeschwindigkeiten schwerwiegendste Betriebstörungen verursachen, wenn, wie es bisher die Regel war, der Wagenführer zur Kühlung der Automobilmaschine beliebiges Wasser verwendet, wie er es gerade beim Vorüberfahren, unter Umständen im Straßengraben, findet. Ich bin überzeugt, wenn man die Kühlräume von Automobilmotoren, die längere Zeit im Betriebe waren, untersuchte, so würde man häufig Wassersteinablagerungen, besonders an den Durchdringungsstellen im Verbrennungsraum finden. Viele Zündstörungen sind auf mangelhafte Kühlung der Zündkerzen infolge von Wassersteinablagerung zurückzuführen.

Die Kühlung steht nicht nur im Zusammenhang mit der Erhaltung der Wandungen und damit der ganzen Maschine, sondern sie ist auch notwendig, um überhaupt einen leistungsfähigen Betrieb durchzuführen. Beherrscht man die Kühlung dauernd sicher durch die Verwendung von reinem Wasser, ist man also gewiß, daß kein unzulässiger Wärmestau in den Wandungen eintreten kann, dann läßt sich die Verbrennung wesentlich günstiger gestalten, z. B. durch Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses und der Betriebsgeschwindigkeit, und man erreicht höhere Leistung der Maschine bei geringerem spezifischem Brennstoffverbrauch. Gleichzeitig werden die möglichen Störungen verringert, die Betriebsicherheit im allgemeinen erhöht und damit die Kosten des Automobilbetriebs herabgesetzt.

Der Wunsch nach besserer Beherrschung des Wärmezustandes in solchen raschlaufenden Verbrennungsmaschinen hat in neuerer Zeit dazu geführt, in weitgehendem Maße gutleitende Baustoffe für ungekühlte Kolben zu verwenden, damit die Wärme aus dem Kolbenboden besser zu den gekühlten Seitenwänden des Zylinders abgeleitet wird. Bei der Ausbildung solcher Kolben wird aber zu wenig darauf geachtet, daß eine ausreichende Wandstärke im Leichtmetall notwendig ist, damit die großen Wärmemengen rechtzeitig aus dem Kolbenboden abfließen können. Auch hier ist der Einfluß der besseren Kühlung auf die Wärmeausnutzung der Maschine nur mittelbar, denn die unmittelbare Folge der stärkeren Wärmeabführung wäre eine Erhöhung der Wärmeverluste. Mittelbar aber erreicht man durch die bessere Beherrschung des Wärmezustandes die Möglichkeit, das Verdichtungsverhältnis und die Betriebsgeschwindigkeit zu steigern und damit die Leistungsfähigkeit der Maschine und die Wärmeausnutzung des Brennstoffs erheblich zu verbessern.

Die Mängel der Leichtmetallkolben, die mit ihrer stärkeren Wärmeausdehnung zusammenhängen, das Klappern in der kalten, das Zwängen in der heißen Maschine, werden im Laufe der Zeit durch Sonderkonstruktionen oder durch bessere Erfahrung in der Ausführung der Passungen behoben werden.

Nach dem Gesagten scheint es meist von zweifelhaftem Vorteil zu sein, Heißwasserkühlung für Verbrennungsmaschinen in der Weise anzuwenden, daß man die Kühlräume unter Druck setzt und dadurch das Kühlwasser ohne Dampfentwicklung auf Temperaturen über 100° bringt, nur um die aus dem Kühlwasser übergehende Wärme in einer Abwärmeanlage nutzbar machen zu können. Denn bei wirksamer Kühlung des Verbrennungsraumes kann man höher verdichten und dadurch die Wärme unmittelbar wahrscheinlich besser ausnutzen als mittelbar durch Abwärmeverwertung bei geringerem Temperaturgefälle. Nur bei Großgasmaschinen, die hohe Verdichung wegen der großen Kolbenkräfte und Beanspruchungen nicht vertragen, kann unter Umständen Heißwasserkühlung günstigere Abwärmeverwertung und damit Verbesserung des Brennstoffwirkungsgrades ergeben.

Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit und Verringerung der in der Zeiteinheit arbeitenden Massen des Wärmeträgers wird auch durch die Gas- und Ölturbine angestrebt. Trotz jahrzehntelanger großer Aufwendung von Arbeitskraft und Kosten ist es bis heute nicht gelungen, eine leistungsfähige Gasturbine auszubilden. Die Schwierigkeiten lagen bisher, wie bekannt, vor allem in der Beherrschung des Wärmezustandes an den raschlaufenden Rädern und Verschaufelungen solcher Turbinen. Wie schwierig die Entwicklung auf diesem Gebiete ist, wird dadurch gekennzeichnet, daß große Firmen sich seit vielen Jahren bemühen, die Holzwarth-Turbine zu entwickeln, daß auch schon verschiedene Ausführungen davon vorliegen, daß aber noch keinerlei Betriebserfahrungen über diese Turbine bekannt geworden sind. Ich fürchte, daß noch manches weitere Jahr vergehen wird, bis eine tatsächlich leistungsfähige Gasturbine in den Wettkampf der Wärmekraftmaschinen eintritt.

Hier spielt die Materialfrage eine noch entscheidendere Rolle als bei andern Verbrennungsmaschinen. Während bei den üblichen Kolbengasmaschinen Gußeisen für die im Verbrennungsraum wirkenden Teile ausreichende Sicherheit bietet und bei den raschlaufenden Kraftfahrzeugmaschinen hochwertige Stahlsorten den höheren Beanspruchungen genügen, hat man für die Gasturbinen bis jetzt anscheinend noch nicht den Baustoff gefunden, der den hohen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Schaufeln und den hohen Temperaturen genügend widersteht. Aber ich bezweifle nicht, daß unsere hochentwickelte Metalltechnik bald in der Lage sein wird, auch hier geeignetes Material zur Verfügung zu stellen. Sind doch schon Chromstähle bekannt, die bei dauernder Beanspruchung mit 500 °C noch nahezu 2000 kg/cm² Festigkeit an der Streckgrenze haben. Ich glaube daher nicht, daß die Materialfrage die Entwicklung der

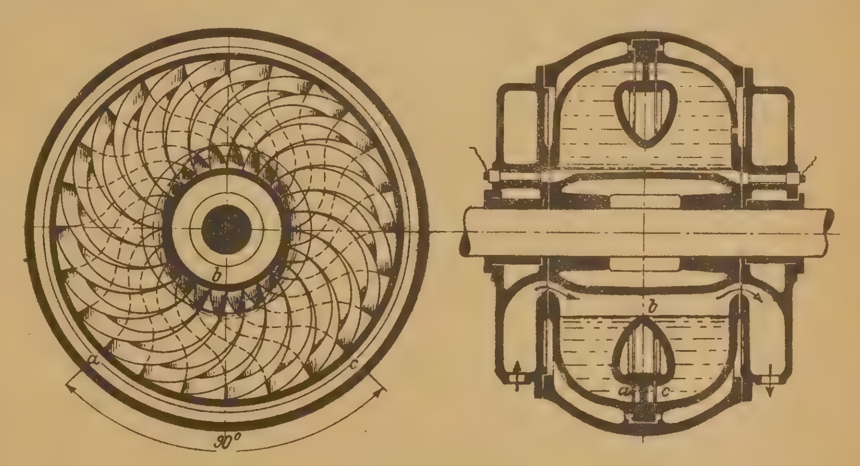


Abb. 8 und 9. Gas- und Ölturbine von Stauber.

Gasturbine dauernd hemmen wird, aber es sind noch andere große Schwierigkeiten zu bewältigen, bis ausreichende Wirtschaftlichkeit solcher Turbinen erreicht werden wird.

Die Herabsetzung der Betriebstemperaturen in den Verschauflungen der Laufräder setzt voraus, daß die Druckenergie vor der Einwirkung der Verbrennungsgase auf die Laufräder möglichst weitgehend in Geschwindigkeitsenergie umgesetzt wird. Dies ergibt hohe Strömgeschwindigkeiten und damit hohe Strömwiderstände. Es ist daher sehr zu befürchten, daß der hohe Wärmezustand, der zur Erzielung eines ausreichend hohen Brennstoffwirkungsgrades notwendig wäre, nicht erreicht und beherrscht werden kann, und daß Gasturbinen kaum jemals die Wärmeausnutzung der heutigen Dampfturbinen erreichen werden. Allerdings würde der Fortfall der Dampfkessel der Gasturbine trotzdem ein großes Verwendungsfeld sichern, namentlich in den Fällen, wo Abfallgase von Hüttenwerken, Kokereien usw. auszunutzen sind.

Daß die Schwierigkeiten der Materialfrage bei der Entwicklung der Gasturbine auch umgangen werden können, beweist die Stauber-Turbine, bei der die jetzt im Maschinenbau üblichen Baustoffe: Gußeisen und Stahl, vollständig ausreichen, da die Laufräder im Betriebe mit einfachen Mitteln wirksam gekühlt werden. Die Wirkungsweise dieser Turbine läßt sich an der Hand der Abb. 8 und 9 kurz wie folgt erläutern:

In einem Laufsystem, bestehend aus mindestens einem Paar von Schaufelrädern mit zwischengeschalteter Leitvorrichtung zur Umsetzung von Druck- in Geschwindigkeitsenergie, wird eine Wassermasse umgeschleudert, die im Beharrungszustand ohne andere Einwirkung als die der Fliehkräfte einen geschlossenen Wasserring bildet. Durch Verbrennungsstöße, die innerhalb des Wasserrings, meistens an symmetrisch gegenüberliegenden Stellen, eingeleitet werden, wird dem Wasserring eine Relativbewegung erteilt, die ihn elliptisch deformiert, hierdurch eine

Strömung von einem Laufrade zum andern erzeugt und die Umwandlung der durch die Verbrennung ausgelösten Druckenergie in Strömungsenergie bewirkt, sowie schließlich ein Drehmoment an der Laufradwelle, wie bei einer Wasserturbine, hervorruft. In den Abbildungen ist der Verlauf der Strömung vom Laufrad durch die Leitvorrichtung und von dieser zum Laufrad zurück durch die Buchstaben *a*, *c*, *b* bezeichnet. Eine erste Ausführung dieser Turbine befindet sich bei der AEG in Berlin im Versuchsbetrieb; sie wird mit ähnlich niedrigen Drehzahlen betrieben wie Wasserturbinen, ist aber auch auf niedrigere Leistungen beschränkt als Dampfturbinen.

Die Ausbildung der Stauber-Turbine hat eine ganze Reihe neuer und überraschender Probleme gezeitigt, deren Lösung hohe Ansprüche an den Erfindungsgeist und die Gestaltungskraft des Konstrukteurs stellte. Der Grundgedanke verbindet in glücklicher Weise die Energieerzeugung durch Verbrennung innerhalb der Turbine mit der notwendigen Rad- und Schaufelkühlung und vermeidet so die wesentlichen Schwierigkeiten der bisherigen trockenen Gasturbinen. Es ist zu wünschen, daß alle Mittel aufgewendet werden, um diese Turbine zu einer brauchbaren Wärmekraftmaschine zu entwickeln, damit die Tatkraft und Ausdauer ihres Erfinders mit dem verdienten Erfolge gekrönt wird.

Abb. 10. Kennzeichnung des Wirkungsgrades η bei Dampfturbinen in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit v.

Wie weit der Fortfall der Kessel bei günstigster Entwicklung der Gasturbine gestatten wird, eine geringere Wirtschaftlichkeit solcher Turbinen im Vergleich mit Dampfturbinen in den Kauf zu nehmen, kann heute noch nicht beurteilt werden. Die neueren Verbesserungen auf dem Gebiete des Dampfturbinenbaus im Zusammenhang mit den Bestrebungen, Hochdruckdampf zu verwenden, vermindern allerdings für die nächste Zukunft die Aussichten der Gasturbinen, zugleich mit denen der Großgasmaschinen, die heute fast allgemein zur Ausnutzung von Abfallgasen verwendet werden.

Bisher hat man bei den Dampfturbinen der Ausbildung des Niederdruckteils, der besonders die Spannungen unter 1 at bis zum Kondensatordruck auszunutzen hat, wesentlich mehr Beachtung geschenkt als der Entwicklung des Hochdruckteils. Während man beim Niederdruckteil durch eine große Zahl von Lauf- und Leitapparaten fast allgemein eine allmähliche Druckabstufung und damit hohe Wirtschaftlichkeit erreichte, glaubte man bei der Ausnutzung der höheren Dampfdrücke, besonders der Anfangsspannung des Dampfes, weitgehende Umsetzung der Druck- in Geschwindigkeitsenergie vor dem Eintritt in das erste Laufrad nicht entbehren zu können, um innerhalb des Turbinengehäuses nur mit mäßigen Drücken und Temperaturen auszukommen und die Beanspruchung aller Bauteile der Turbine niedrig zu halten.

Die Hauptausnutzung des Hochdruckgefälles ist daher selbst bei mehrrädrigen Dampfturbinen dem ersten Turbinenlaufrade oder dem ersten Paar von Laufrädern zugeschoben worden, so daß besonders bei Teilbelastungen ein verhältnismäßig schlechter Wirkungsgrad die Folge war. Die hohen Strömgeschwindigkeiten, welche mit der weitgehenden Umsetzung der Druck- in Geschwindigkeitsenergie verbunden waren, ergaben höhere Widerstände.

Das Bestreben, hohe Strömgeschwindigkeiten zu verwenden, ist durch theoretische Überlegungen unterstützt worden, welche auf unzureichende Versuche aufgebaut waren und zu dem Ergebnis führten, daß der höchste Wirkungsgrad erst bei Überschreitung der Schallgeschwindigkeit erreicht werden könne. In neuester Zeit hat die bemerkenswerte Dampfturbine der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft (Lösel-Turbine) den Beweis erbracht, daß man hohe Dampfspannungen nur bei niedrigen Strömgeschwindigkeiten wirksam ausnutzen kann, und daß zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades nur eine mäßige Umsetzung von Druck- in Strömungsenergie im Hochdruckteil, besonders für die ersten Laufräder, zweckmäßig ist. Das Druckgefälle im Hochdruckteil wird bei dieser Turbine auf eine größere Zahl von gleichen Laufrädern verteilt, die im Mittel mit Strömgeschwindigkeiten von etwa 100 m/s arbeiten. Abb. 10 zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades nach Versuchen mit den neuen Turbinen der Ersten Brünner Maschinenfabrik im Vergleich mit dem Verlauf nach früheren theoretischen Überlegungen, jenen in ausgezogener, diesen in gestrichelter Linie. Abb. 11 zeigt einen Schnitt durch den Hochdruckteil einer Lösel-Turbine von 1000 kW bei 3000 Uml./min und etwa 15 at Anfangsspannung.

Die Leitscheiben sind in besondere zweiteilige Einsätze eingebaut, die mit entsprechendem radialem Spiel dampfdicht in das zweiteilige Gehäuse der Turbine eingepaßt sind. Die Stopfbuchse auf der Dampfeintrittseite hat bei dieser Turbine gegen wesentlich höhere Druckunterschiede abzudichten als bei den üblichen Dampfturbinen. Sie ist als Labyrinthdichtung mit einer großen Zahl von Labyrinthstellen ausgeführt, die verhältnismäßig eng aneinander gesetzt werden, so daß ihre Unterbringung keine zu große Baulänge erfordert.

Außerordentlich wichtig ist bei der Ausführung von Hochdruckturbinen das Spaltspiel zwischen Laufrädern und Gehäuse. Je kleiner dieses Spiel ist — es handelt sich um Bruchteile eines Millimeters —, um so geringer sind die Spaltverluste, um so günstiger der Dampfverbrauch. Anscheinend hat dieses Spaltspiel einen wesentlich größeren Einfluß, als angenommen wird. Kleines Spaltspiel läßt sich aber nur bei sorgfältiger Konstruktion und Ausführung sicher beherrschen, also nur bei tadellosem Lauf des Rotors und sorgfältigster Auswuchtung. Denn das Anstreifen der Räder würde bei der hohen Laufgeschwindigkeit zu schwersten Betriebsstörungen führen können. Die mit kleinem Spaltspiel verbundene Gefahr wächst selbstverständlich mit der Zahl der in dem Gehäuse untergebrachten Lauf- und Leiträder. Die Erste Brünner Maschinenfabrik erhöht bei ihrer Konstruktion die Möglichkeit, geringes Spaltspiel auszuführen, dadurch, daß sie das Gehäuse, in welches die Leiträder eingepaßt sind, von Dampf umspülen läßt, so daß die Wärmedehnungen nur geringe Unterschiede gegenüber dem ursprünglichen Spiel herbeiführen können.

Versuche an ausgeführten Turbinen dieser Bauart haben gezeigt, daß ihr Brennstoffwirkungsgrad sehr günstig ist und dem von hochwertigen Kolbendampfmaschinen gleichkommt. Je höher die Eintrittsspannung des Dampfes ist, desto größer wird das im Hochdruckteil ausnutzbare Wärmegefälle, und desto wichtiger wird es, daß der Wirkungsgrad derartiger Turbinen möglichst hoch ist. Denn erst dann kommen die Vorteile hoher Dampfspannung wirkungsvoll zum Ausdruck, besonders dadurch, daß mit der Dampfspannung die Leistung nahezu proportional der Steigerung des Wärmegefälles ansteigt. Abb. 12 stellt den Verlauf des Wärmegefälles H, des Wirkungsgrades η und der Leistung N in Abhängigkeit von der Spannung p für eine ältere Turbine dar, Abb. 13 den Verlauf derselben Größen für die neue Brünner Turbinenbauart.

Schon bei mäßigen Anfangsdrücken, zwischen 15 und 20 at, erreicht man Brennstoffwirkungsgrade wie bei Großgasmaschinen, und bei Erhöhung der Dampfspannung bis auf etwa 100 at und Ausnutzung aller Vorteile, die der Dampfbetrieb bezüglich Überhitzung und

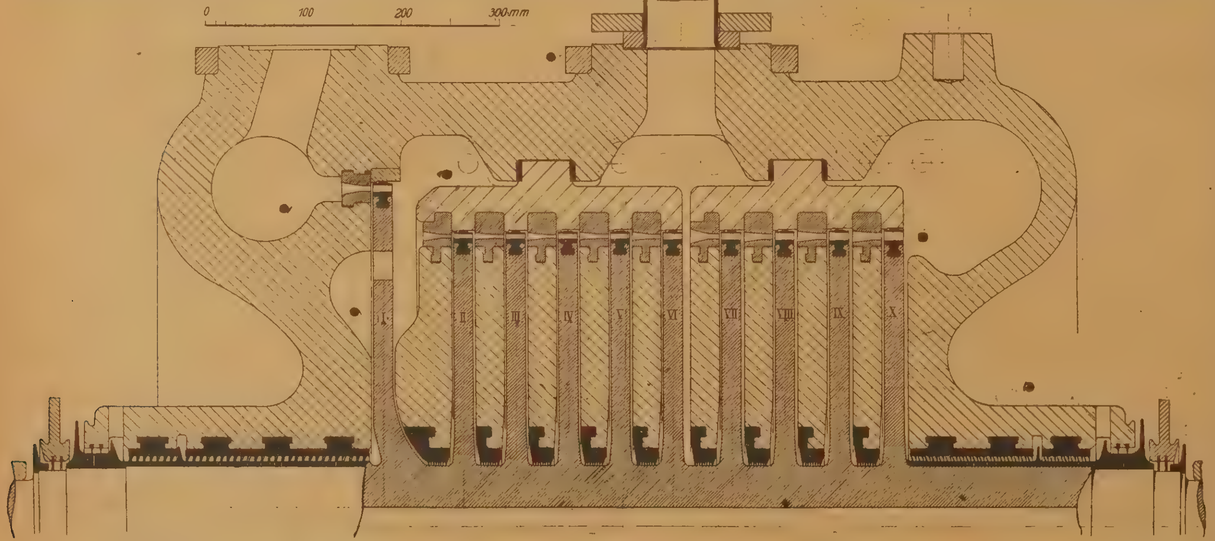


Abb. 11. Lösel-Gegendruckturbine für 15 at Anfangsspannung der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft.

Luft- und Speisewasservorwärmung zuläßt, gelangt man bis zur Wärmeausnutzung der Dieselmaschinen.

Abb. 14 veranschaulicht den Verlauf des dynamischen Wirkungsgrades einer solchen Hochdruckdampfturbine für nur etwa 15 at Anfangsspannung. Er wechselt bei ¼- bis Vollbelastung zwischen 70 und 82 vH, gegenüber dem Höchstwirkungsgrade bisheriger Gegendruckturbinen von etwa 70 vH.

In dieser Steigerung des Wirkungsgrades der Dampfturbinen liegt ein Fortschritt, der für die zukünftige Energiewirtschaft, namentlich der elektrischen Kraftwerke und der Schiffsmaschinenbetriebe mit ihren großen Leistungen, bedeutungsvoll werden wird.

Die Ausführung von Kolbendampfmaschinen und von Dampfturbinen für höchste Drücke bereitet keine wesentlichen Schwierigkeiten. In Abb. 15 ist die Ausführungsform einer Lösel-Gegendruckturbine von 600 kW bei 3000 Uml./min für 100 at Eintrittsspannung dargestellt. Die Hochdruckräder sind in ein besonderes Gehäuse eingebaut, welches von einem zweiten ein-

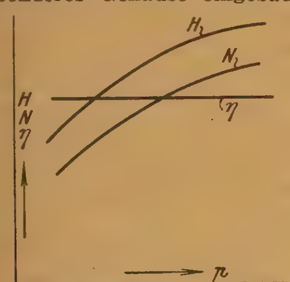


Abb. 12. Verlauf von Wärmegefälle H, Wirkungsgrad η und Leistung N bei älteren Dampfturbinen in Abhängigkeit von der Anfangsdampfspannung p.

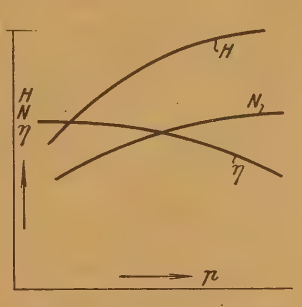


Abb. 13. Desgl. bei der Brünner Turbine.

den Explosionsgefahren nach Möglichkeit herabzumindern.

Erfahrungen mit Hochdruck liegen namentlich auf dem Gebiete der Kaltpressungen vor. Bei hydraulischen Pressen und Hebezeugen werden viele hundert Atmosphären ohne Schwierigkeit beherrscht. Ganz anders aber ist es, wenn neben dem hohen Druck auch noch hohe Temperatur, bis zu mehreren 100 °C, in Frage kommt. Hierüber liegen bisher Erfahrungen in größerem

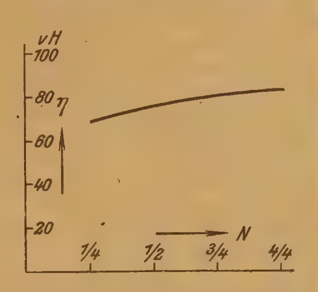


Abb. 14. Thermodynamischer Wirkungsgrad η bei der Brünner Turbine in Abhängigkeit von der Belastung N.

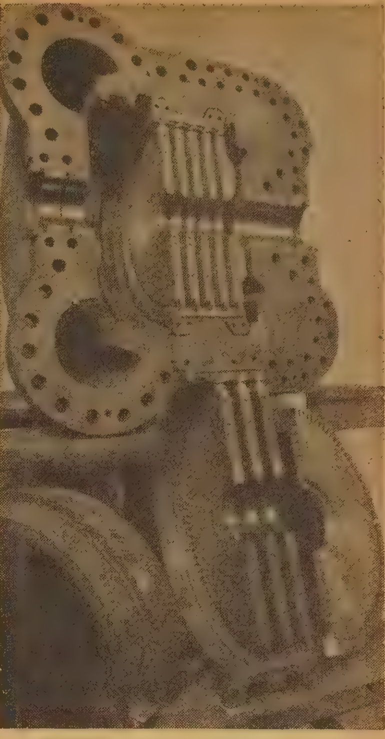


Abb. 16. Teile von Brünner Turbinen.

teiligen Gehäuse aus Stahl als Träger der Eintrittsdampfpressungen umgeben ist.

Abb. 16 zeigt Teile von neuen Brünner Turbinen nach einer Lichtbildaufnahme in der Werkstätte. Die Art der Einpassung der Gehäuseteile und namentlich der Leitvorrichtungen ist daraus deutlich zu ersehen.

In wesentlich anderer Weise als die Brünner Fabrik sucht die Firma Brown, Boveri & Cie. Hochdruckdampf von 100 at in Dampfturbinen wirksam zu machen. Sie arbeitet mit möglichst wenigen kleinen Rädern von mäßiger Umfangsgeschwindigkeit (bis etwa 160 m/s), aber bei hohen Drehzahlen (bis etwa 8000 Uml./min), um Dampfspannungen von 100 at auf den Gegendruck von 10 bis 20 at zu bringen. Die Kupplung mit den zugehörigen elektrischen Maschinen muß wegen deren geringerer Drehzahl durch Zahnradvorgelege erfolgen. Die kleinen, zumeist einseitig fliegend gelagerten Laufräder der Dampfturbinen ergeben kleine Reibungswege des Dampfes, und es soll auf diese Weise die Wärmeausnutzung gegenüber den bisherigen Gegendruckturbinen wesentlich verbessert werden. Über Versuche mit solchen Turbinen ist aber noch nichts bekannt geworden.

Die Ausbildung von Hochdruckturbinen erlangt besondere Wichtigkeit in den Fällen, wo es sich darum handelt, die Leistungsfähigkeit vorhandener Dampfkraftwerke zu steigern. Es ist dann wesentlich wirtschaftlicher, anstatt die alte Anlage im hergebrachten Stil durch Hinzufügung einer neuen Dampfturbine mit Kessel für die bisherigen Dampfdrücke von 10 bis 20 at zu vergrößern, eine Hochdruckdampfanlage für Drücke von 100 at und mehr vorzuschalten und den Hochdruckdampf in einer besonderen Gegendruckturbine bis auf die Dampfspannung der alten Anlage auszunutzen.

Der Betrieb der Hochdruckturbine setzt einen brauchbaren Hochdruckdampfkessel voraus.

Auf die Bestrebungen, Dampfkessel für hohe Drücke zu bauen, brauche ich nicht näher einzugehen, da in der letzten Zeit hierüber viel veröffentlicht worden ist[1]). Zur Ausgestaltung solcher Hochdruckkessel benutzt man meistens die bisherigen Bauarten von Kesseln, schlägt aber auch neue Wege ein, die vor allem darauf hinzielen, die mit den hohen Pressungen zunehmen-



[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1145 u. f.

Maßstabe nur aus der chemischen Technik vor. Ich erinnere an die Arbeiten von Haber und der Badischen Anilin- und Sodafabrik auf dem Gebiete der Stickstoffgewinnung aus Luft, wo Pressungen von etwa 200 at bei Temperaturen von etwa 500° zu beherrschen sind. Ähnlich schwierige Betriebsbedingungen hat die chemische Industrie auf dem Gebiete der Ölspaltung und der Veredelung schwerflüchtiger Öle zu Benzin zu bewältigen. Diese Arbeiten haben für die Energiewirtschaft im allgemeinen große Bedeutung, da sie dahin führen sollen, Kohle in flüssige Brennstoffe zu verwandeln.

Die zur Energieerzeugung verwendete Kohle wird in der Hauptsache zur Kesselheizung und Dampferzeugung auf dem Rost verbrannt. Nur besonders geeignete Kohlen werden verschwelt oder vergast; dabei ergeben sich brennbare Gase sowie Teere, aus denen man durch Destillieren, ähnlich wie aus dem Erdöl, verschiedene Leicht- und Schweröle sowie wertvolle chemische Verbindungen für die Farbstoff- und pharmazeutische Technik gewinnt.

Kohlenfeuerungen sind in der Regel schlecht regelbar. Der Dampfkesselbetrieb ist daher möglichst gleichmäßig durchzuführen, wenn er wirtschaftlich sein soll; durch unregelmäßige Dampfentnahme kann er gestört und der Kesselwirkungsgrad verschlechtert werden. Daher werden in neuester Zeit große Dampfspeicher verwendet, um die Folgen stark schwankender Dampfentnahme auszugleichen und die Wirtschaftlichkeit des Dampfbetriebes zu erhöhen, ein Weg, der bei der zumeist notwendigen Größe der Speicher mit großen Anlagekosten verbunden ist und deshalb, besonders in der jetzigen Zeit, nur selten beschritten wird.

Man könnte auch ohne solche Speicher die Wirtschaftlichkeit der Dampfbetriebe wesentlich verbessern, wenn es gelänge, die Kohlenfeuerungen regelbar zu machen und ihren Betrieb der veränderlichen Dampfentnahme schneller anzupassen. Ein

0 100 200 300 mm

Abb. 15. Lösel-Gegendruckturbine für 100 at Anfangsspannung der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft.

aussichtsreicher Weg hierzu ist die Ausbildung der Kohlenstaubfeuerungen, aber noch besser wäre es, die Kohlen möglichst vollständig zu verflüssigen und den flüssigen Brennstoff möglichst vollständig zu verbrennen. Denn Ölfeuerungen sind, wie Gasfeuerungen, ausgezeichnet regelbar und allen Anforderungen an Veränderlichkeit der Energieabgabe gewachsen.

Die Arbeiten der chemischen Technik auf dem Gebiete der Brennstoffveredlung, zunächst die Umwandlung von minderwertigen flüssigen Brennstoffen in hochwertige leichtflüchtige, sind energiewirtschaftlich jedenfalls von größter Bedeutung. Im besonderen ist die Erzeugung von Benzin bei dem täglich wachsenden Umfang des Kraftfahrzeugbetriebs außerordentlich wichtig. Wenn auch augenblicklich infolge der Erbohrung neuer benzinreicher Erdölquellen in Kalifornien der Benzinpreis stark heruntergegangen ist, so ist doch mit Sicherheit zu erwarten, daß beim weiteren Anwachsen der Automobilindustrie wieder Mangel an Benzin eintreten wird, dem nur durch besondere chemische Verfahren zur Veredlung minderwertiger Öle abgeholfen werden kann

In Amerika hat man Verfahren entwickelt, um aus dem rohen Erdöl wesentlich mehr Benzin zu erzeugen, als es beim einfachen Destillationsverfahren bisher möglich war. Das Rohöl

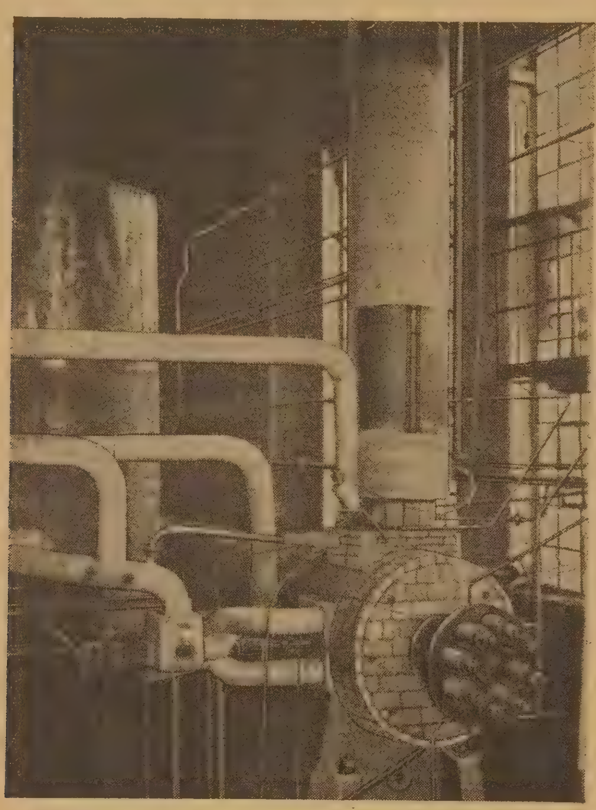


Abb. 17. Apparatur für Hochdruckreaktionen.

wird bei Pressungen von 10 bis 20 at destilliert und liefert dabei ungefähr doppelt soviel Benzin als bei den üblichen Verfahren. Dieses sogenannte „Kracken" des Öls wird in Kesseln, ähnlich den gewöhnlichen Dampfkesseln, durchgeführt und das Rohöl darin bis auf etwa 450 °C erhitzt. Hierbei ergeben sich Schwierigkeiten dadurch, daß im Innern des Kessels Verkokungen des Rohöls eintreten, die gefährlichen Wärmestau in den Wandungen und schließlich Brüche und Explosionen der Kessel herbeiführen, ähnlich wie der Ansatz von Wasserstein an den Wandungen der Dampfkessel.

Die Koksbildung bei der Ölerhitzung kann nur dann sicher verhütet werden, wenn das Öl im Beisein von Wasserstoff unter höherem Druck und bei höherer Temperatur behandelt wird. Eine in dieser Weise betriebene Brennstoffveredlungsanlage ist in Deutschland gebaut worden (Bergin-Anlage Rheinau bei Mannheim) und hat in wochenlangem Dauerbetriebe bei Pressungen zwischen 100 und 150 at und Temperaturen zwischen 450 und 500 ° C gearbeitet, ohne daß die hohen Pressungen und Temperaturen irgendwelche wesentlichen Anstände an den Apparaturen ergeben hätten.

Die Anlage ist so angeordnet, daß die Apparaturen, in denen die Hochdruckreaktionen vor sich gehen (Abb. 17), in Räumen untergebracht sind, die nicht betreten werden dürfen, und daß die Beherrschung und Regelung des Betriebs von einer entfernten Stelle aus erfolgt, wo die Temperatur- und Druckmeßvorrichtungen vereinigt und die Regelventile angebracht sind (Abb. 18), die zur Veränderung der Betriebsbedingungen betätigt werden müssen.

Mit den Bestrebungen der chemischen Technik hängen wesentliche Fragen der heutigen Energiewirtschaft auf dem Gebiete des Kraftfahrwesens zusammen. Die Not der Zeit zwingt heute dazu, zum Betriebe von Nutzfahrzeugen, wie Lastwagen, Booten usw., Schweröle zu verwenden. Dies geschieht in der Regel so, daß man den nur für Leichtöle geeigneten Vergasermaschinen Betrieb mit Schweröl zumutet und dazu künstliche Mittel benutzt, ohne die Maschine selbst dem neuen Brennstoff entsprechend auszubilden.

Ich erinnere in diesem Zusammenhang an die Zeiten, wo man von Dieselmaschinen verlangte, daß sie auch mit den schwersten Rückständen der Erdöl- und Steinkohlenteerdestillation, ja selbst mit minderwertigen Teeren betreibbar wären. Hieraus erwuchsen schwere Mißerfolge, und heute findet man nur noch wenige Maschinen, die etwa mit Steinkohlenteer betrieben werden.

Nichtsdestoweniger geht man jetzt mehr und mehr dazu über, die Vergasermaschinen mit den schwersten Treibölen zu speisen. Dies kann nur mit sehr beschränktem Erfolg geschehen, und bei Verwendung solcher Brennstoffe wird in der Regel die Leistungsfähigkeit und der Brennstoffverbrauch verschlechtert. Man kann hier die Frage aufwerfen, ob es nicht viel zweckmäßiger wäre, die minderwertigen schweren Treiböle erst in der chemischen Retorte in leichtflüchtige, besser geeignete umzuwandeln, als die Maschinen mit ungeeigneten Brennstoffen zu betreiben. Wenn es wirklich gelänge, eine raschlaufende Vergasermaschine auszubilden, welche Schweröle genau so vollkommen verarbeitet, wie die heutigen Automobilmaschinen Benzin, dann würde vermutlich das Schweröl gegenüber dem Benzin so teuer werden, daß hierdurch der errungene Vorteil zum größten Teil wieder verloren ginge. Durch richtige chemische Behandlung der rohen Brennstoffe könnte man aber jedwedem Bedürfnis der brennstoffverwertenden Motorenindustrie gerecht werden.

Auf Grund der Erfahrungen mit den Hochdruckbetrieben der brennstoffveredelnden chemischen Industrie glaube ich aussprechen zu können, daß es sicher gelingen wird, einen brauchbaren Dampfkessel für Spannungen von 100 at und mehr zu schaffen; ich möchte aber davor warnen, solche Kessel einfach

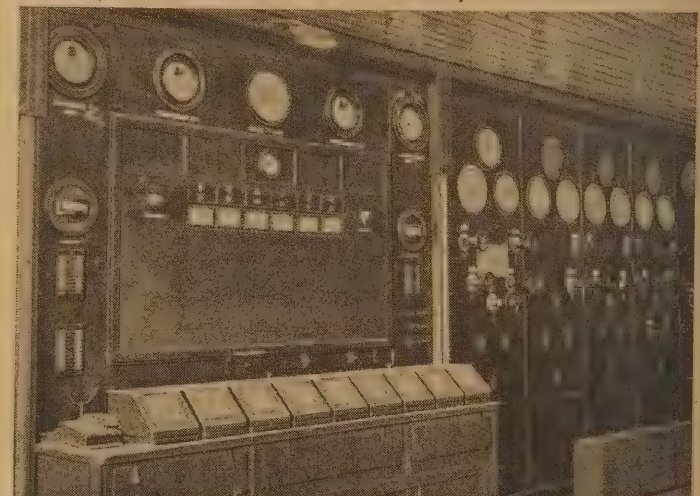


Abb. 18. Schaltwand für die Temperatur- und Druckmeßvorrichtungen.

durch verstärkte Ausführung der bisher üblichen Kesselbauarten zu entwickeln, deren Mängel bei den hohen Pressungen in wesentlich stärkerem Maße fühlbar werden würden.

Zur Dampferzeugung erhitzt man in den bisherigen Kesseln den Wasserinhalt durch Feuerungen, aber die Dampfbildung geht selbsttätig vor sich, und die Strömung innerhalb des Kessels an den wärmeübertragenden Wandungen ist unsicher und nicht zwangläufig beherrschbar. Um einen wirksamen Wasserumlauf zu erzielen, muß bei Steilrohrkesseln zwischen dem Inhalt der Fallrohre und der Steigrohre ein ausreichend großer Gewichtsunterschied bestehen; eigentlich müßte die Dampfbildung nur in den Steigrohren, nicht aber auch in den Fallrohren stattfinden. Wesentlich ist, daß die sich bildenden Dampfblasen in den Steigrohren möglichst wenig Widerstand gegen das Aufsteigen nach den Oberkesseln finden. Je höher die Dampfspannung wird, desto kleiner werden die Dampfblasen, und desto schwerer steigen sie innerhalb der Druckflüssigkeit auf. Macht man die Steigrohre möglichst steil, dann wird der Ausgleich der Wärmespannungen in diesen Rohren schwierig. Führt man die Rohre aber in Krümmungen oder Schlangen, dann erschwert man den Aufstieg der Dampfblasen und auch die Reinigung der Rohre von etwa anhaftendem Wasserstein. Jedenfalls ist bei der Entwicklung der jetzigen Steilrohrkessel zu Hochdruckkesseln größte Vorsicht geboten, wenn man nicht schwere Rückschläge erleiden will. Von verschiedenen Seiten sind daher vollständig neue Vorschläge für Einrichtungen zur Dampferzeugung gemacht worden[1]), doch liegen Betriebsergebnisse, die ein einwandfreies Urteil ermöglichen, noch nicht vor.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1145.

Zum Teil strebt man bei diesen Neuerungen die Verringerung der Explosionsgefahr durch Verkleinerung der Kesselräume an. Ausreichend großer Wasserinhalt ist aber mit Rücksicht auf veränderliche Energieentnahme aus dem Kessel unbedingt notwendig. Wichtig ist ferner, die zur Dampferzeugung erforderliche Wärmeaufnahme an möglichst ungefährliche Stellen zu legen, dabei die Reinheit der Wandungen an der wärmeabführenden Seite zu sichern und die Strömung auf dieser Wandseite zwangläufig zu gestalten. Die Spannungen in den Wänden der Kesseltrommeln müssen in jeder Phase des Betriebs zuverlässig auf das zulässige Maß begrenzt werden können. Derartige Kesselteile müssen somit vor dem Einfluß starker Wärmezuführung durch die Wandungen von außen her geschützt werden; das heißt: sie dürfen nur als Speicher, nicht als Wärmeaustauscher wirken.

Den größten Einfluß wird der neue Hochdruckdampfbetrieb auf die Erzeugung großer Leistungen zur elektrischen Kraftübertragung in Städten, in Berg- und Hüttenwerken und im Schiffsbetrieb üben. Die schweren Kolbengasmaschinen großer Leistung, die in Hüttenwerken mit Gichtgasen zur Erzeugung elektrischer Energie oder zum Gebläseantrieb betrieben werden und die mit ihren schweren Triebwerken nur bei geringer Umlaufgeschwindigkeit dauernd betriebsfähig sind; werden in Zukunft in der Hochdruckdampfturbine eine ernstliche Mitbewerberin erhalten; denn es wird wahrscheinlich einfacher und wirtschaftlicher sein, die Abfallgase unter Hochdruckkesseln zu verbrennen und Hochdruckdampf für Dampfturbinenbetrieb zu erzeugen, als Großgasmaschinen zu betreiben.

Die Ausbildung der betriebssicheren und wirtschaftlich arbeitenden Gas- oder Ölturbine wird durch den Hochdruckdampfbetrieb wahrscheinlich schwer gehemmt werden. Denn selbst wenn in nächster Zeit eine einfache, betriebsbrauchbare und leistungsfähige Gasturbine entwickelt wird, so wird sie doch nur dann ausgedehntere Verwendung finden können, wenn ihre Wärmewirtschaftlichkeit nicht zu sehr hinter der moderner Dampfturbinen zurückbleibt. Nur für mäßige Leistung wird die Dieselmaschine neben der Hochdruckkolbendampfmaschine lebensfähig bleiben, und im Kraftfahrzeugbetriebe wird die raschlaufende Vergasermaschine weiter das Feld beherrschen.

Hochdruckdampfbetrieb bei hohen Temperaturen verlangt aber eine ganz andre Art der Beaufsichtigung und Nachprüfung des Betriebs, als bisher üblich war. Es wird notwendig, Dampferzeugung und Dampfströmung an allen Stellen der Hochdruckmaschinen und -apparaturen durch Messen von Druck und Temperatur sowie der Dampfmenge genau zu verfolgen. Denn Verluste durch Undichtheiten, durch mangelhafte Ausführung und unzweckmäßige Anordnung von Leitungen und Armaturen sowie durch schlechte Isolation werden von wesentlich größerer Bedeutung sein und gefährlichere Folgen haben können als bisher.

Schon in den heutigen Betrieben zeitigt der Mangel einer ausreichenden Kontrolle viele Nachteile. Es gibt noch große Dampfbetriebe, wo kein Dampfmesser verwendet wird, und wo die Leitungsverluste durch undichte Flanschverbindungen, durch mangelhafte oder schadhafte Isolierung, durch unzureichende Dampfüberhitzung sehr groß sind. Wie schon erwähnt, ist wiederholt festgestellt worden, daß in Bergwerken mit weitverzweigten Druckluftleitungen die Luft- und Energieverluste durch undichte Rohrverbindungen, durch falsch gewählte Rohrquerschnitte, durch unzweckmäßige Absperr- und Regelorgane einen großen Teil der verfügbaren Kompressorleistung aufzehren, und oft wäre es zweckmäßiger, statt der Aufstellung immer neuer Kompressoranlagen erst die vorhandenen Leitungen zu verbessern und die Druckverluste zu verringern.

Bei Hochdruckbetrieben wird man auf derartige Mängel der Ausführung besonders genau achten müssen, weil daraus bei ihnen sofort sehr große Verluste erwachsen. Die Leitungsstränge wird man in kurzen Abständen auf Druck und Temperatur dauernd überwachen müssen. Es werden möglichst wenig Rohrverbindungen zu gebrauchen sein, da jede Dichtungsstelle, jede Verschraubung Schwierigkeiten verursacht und zu Druckverlusten führen kann. Man wird möglichst nur geschweißte Leitungen verwenden, denn es ist nicht schwierig, ein unbrauchbar gewordenes Leitungsstück durch Zerschneiden mit den bekannten Sauerstoff- oder anderen Schneidbrennern aus der Rohrleitung herauszuschneiden und durch Schweißen ein neues Rohrstück einzufügen. Die Rohre müssen für Betrieb mit hohem Druck und hohen Temperaturen mit großer Erfahrung geführt werden, wenn unzulässige Spannungen vermieden werden sollen.

Die heißen Leitungen und Gefäße für Hochdruckdampf müssen wesentlich besser isoliert werden als die für niedrig gespannten Dampf. In diesem Zusammenhange ist es sehr zu begrüßen, daß der Untersuchung der Isolierstoffe und der Isolierverfahren in neuerer Zeit mehr Aufmerksamkeit zugewendet wird als früher, und daß in München ein eigenes wissenschaftliches Institut dafür errichtet worden ist. Aber viele haben keine Vorstellung davon, welche ungeheuren Wärmeverluste heute noch durch mangelhafte Isolierung entstehen, und es wird nicht genügend beachtet, daß die Kosten wirksamer Isolierung in kurzer Zeit durch die Energieersparnis hereingebracht werden.

Auf die richtige Ausführung und Anordnung der Armaturen und Meßeinrichtungen für Hochdruckdampf wird besonders zu achten sein, denn die bisherigen Ausführungsformen von Ventilen, Schiebern usw. werden im Hochdruckbetriebe versagen. Gegossene Gehäuse werden nur bei sorgfältigster Ausführung in hochwertigem Stahlguß verwendbar sein; in der Hauptsache werden die Armaturen aus dem vollen Stahlmaterial herausgearbeitet werden müssen. Die Meßeinrichtungen, wie Manometer, Wasserstandsanzeiger, Mengenmesser, müssen den Anforderungen des Hochdruckbetriebs gemäß vollständig neu durchgebildet werden.

Man erkennt, daß an den Konstrukteur von Hochdruckdampfanlagen sehr hohe Anforderungen zu stellen sind, und daß diese neue Technik neue technische Mittel, ja einen neuen technischen Geist erfordert, wenn sie lebensfähig gemacht werden soll.

Die Hochdrucktechnik hat bisher nur in der chemischen Industrie ausgedehntere Anwendung gefunden, und zweifellos wird diese Industrie auch in der Zukunft durch das Arbeiten mit Hochdruck und hoher Temperatur zu neuen Erfolgen geführt werden. Ihre führenden Männer haben den immer neuen Aufgaben, die der chemischen Technik erwuchsen, stets volles Verständnis entgegengebracht und die auf den Fortschritt gerichteten Arbeiten durch Aufwendung großer Mittel unterstützt.

Auf wirkungsvolles Zusammenarbeiten mit der Maschinentechnik wird die chemische Industrie in Zukunft noch viel mehr Wert legen müssen als bisher, und umgekehrt sollte der Maschineningenieur dem Fachgebiete Chemie weit mehr Interesse zuwenden, als er es bisher getan hat. Ich komme damit zu der Frage der Ausbildung unseres jungen Nachwuchses auf dem Gebiete des Maschinenbaues. Künftig wird der junge Maschineningenieur neben gründlichen Maschinenfachkenntnissen ein großes Maß physikalischer und chemischer Kenntnisse sein eigen nennen müssen, damit er fähig ist, die Anforderungen der modernen chemischen Großindustrie zu erfüllen. Vor allem muß er sich mit der Chemie der Kohlenwasserstoffe, mit dem Chemismus des Verbrennungsvorgangs und mit den allgemeinen Gesetzen der chemischen Reaktionen vertraut machen, wenn er auch die Einzelheiten der Vorgänge theoretisch nicht zu beherrschen braucht. Aber auch allgemein ist die Frage aufzuwerfen: Ist der heutige Maschinenbauunterricht an den Technischen Hochschulen geeignet, die Forderungen der modernen Energiewirtschaft und der Hochdrucktechnik zu erfüllen?

Der Unterricht an den Technischen Hochschulen setzt sich heute vor allem zum Ziel, den Studierenden mit einem umfangreichen theoretischen Rüstzeug zu versehen, das ihn befähigt, die schwierigsten Rechnungen auszuführen. Leider wird neben dem theoretischen Unterricht die Gestaltungslehre, die Lehre, welche den jungen Ingenieur in das verantwortliche technische Denken und Schaffen einführt, nicht in gleich wirkungsvoller Weise gepflegt. Es wird dem Studierenden auf der Hochschule zu wenig gesagt, daß der Ingenieur in der Praxis wohl ein ausgiebiges Rechnungsrüstzeug braucht, um seine Arbeiten, die doch die Gestaltung zum Zweck haben, nachprüfen zu können, daß aber die Rechnung nie dazu führen kann, Neues zu schaffen. Dazu gehört Gestaltungsfähigkeit und Erfahrung. Richtig, der Wirklichkeit entsprechend rechnen kann nur der erfahrene Ingenieur. Nur der kann beurteilen, ob die einer Rechnung, einer Gleichung, einer Formel zugrunde liegenden Annahmen auf den Anwendungsfall zutreffen. Denn nur dann hat die Anwendung einer Rechnungsformel, einer Theorie Berechtigung.

Grundlage jeder Theorie sollte die Erfahrung und der wissenschaftliche Versuch sein. Auch dieser muß den Bedingungen des praktischen Betriebs entsprechen, wenn seine Ergebnisse zur Aufstellung einer brauchbaren Theorie benutzt werden sollen. Die Praxis muß verlangen, daß der junge Maschineningenieur im Hochschulunterricht über die Tragweite von Theorie und Rechnung belehrt und zu ihrer richtigen Anwendung angeleitet wird. Das kann nur geschehen, wenn der Unterricht von vielseitig erfahrenen Lehrern erteilt wird, die sich selbst schon als Gestalter bewährt haben. Wird die praktische Ausbildung der Ingenieure in die Zeit ihrer Anfangstätigkeit in der Industrie verlegt, so besteht die Gefahr, daß Spezialisten ausgebildet werden, die für den Übergang in andre Fachgebiete unbrauchbar sind. Diese Art der Ausbildung würde auch dadurch unfruchtbar werden, daß die nur theoretisch vorgebildeten Ingenieure, die also eigentlich nur technische Physiker oder technische Mathematiker sind, Anschauungen in die Praxis mitbringen, die ihnen selbst und der Industrie zum Schaden gereichen und von denen sie erst durch jahrelangen Umgang mit der Wirklichkeit geheilt werden können.

Nur wenn die Hochdrucktechnik hochwertigste Materialien und beste Konstruktionen, aufgebaut auf wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen, verwendet, wird sie den von ihr erwarteten Fortschritt in der Energiebewirtschaftung bringen. Hierzu müssen wir in Deutschland das richtige Feld schaffen. Die Industrie muß dazu helfen, den Bau von Hochdruckanlagen durch Aufträge zu ermöglichen, damit die notwendigen praktischen und wissenschaftlichen Erfahrungen gesammelt werden. Die Hochschulen müssen durch einen wirklichkeitsgerechten Unterricht, der von erfahrenen und verantwortlich schaffenden Lehrern erteilt wird, Ingenieure heranziehen, die nicht nur viel wissen, sondern auch viel können; mit Hilfe solcher Ingenieure werden die schwierigen Aufgaben der Hochdrucktechnik technisch und wirtschaftlich gelöst werden. [A 64]

Amerikanische Normen für Leistungsversuche an Lokomotiven.

Von Prof. Nordmann, Regierungsbaurat, Mitglied des Eisenbahn-Zentralamts, Berlin.

Der neue amerikanische Entwurf für Leistungsnormen an Lokomotiven einerseits auf ortfesten Prüfständern, anderseits bei Betriebsfahrten auf der Strecke wird kritisch besprochen und mit dem deutschen Verfahren für Lokomotivprüfungen verglichen. Dieses muß sich leider auf Versuche auf der Strecke beschränken, die dafür allerdings sorgfältiger ausgebaut sind und sich nicht nur auf Feststellung der Wirtschaftlichkeit, sondern auch auf die der Leistungsgrenzen beziehen.

Unter der Überschrift „Test Code for Lokomotives" veröffentlicht die American Society of Mechanical Engineers[1]) einen Entwurf von Regeln für Leistungsversuche an Lokomotiven, der ein weiteres Glied in der Reihe der seit 1915 in Neubearbeitung befindlichen Leistungsnormen für Kraftanlagen darstellen soll. Er ist ein Beweis für die erhöhte Aufmerksamkeit, die den Verbrauchzahlen auch der Lokomotiven neuerdings geschenkt wird und mit gutem Grund, insofern der Kohlenverbrauch der Eisenbahnen in Ländern mit hochentwickeltem Verkehr einen gewichtigen Teil des Kohlenverbrauches des ganzen Landes darstellt. Eine kritische Berichterstattung im Vergleich zu der in Deutschland üblichen Art der Lokomotivprüfung dürfte daher wohl begrüßt werden.

Der amerikanische Entwurf betont in seiner Einleitung die beiden Wege, die es zur Gewinnung von Verbrauchwerten der Lokomotiven gibt, nämlich Laboratoriumversuche auf ortfesten Prüfständen und Versuchsfahrten auf der Strecke. In beiden Fällen legt er eine zweizylindrige Heißdampf-Lokomotive mit einfacher Dampfdehnung und Steinkohlenfeuerung zugrunde und fordert für hiervon abweichende Lokomotiven oder Brennstoffe die Benutzung des aufgestellten Protokollmusters mit allen gleichartigen Posten und die Einfügung der zusätzlichen Zahlen an entsprechender Stelle, so daß der ganze Aufbau des Protokolls sachlich der gleiche bleibt.

Wenngleich beide Versuchsarten in dem Entwurf formal mit gleicher Sorgfalt behandelt worden sind, vermag man sich doch des Eindrucks nicht zu erwehren, daß sachlich die Prüfstandversuche etwas besser weggekommen sind, was durch die glückliche Lage der Vereinigten Staaten, über vier ortfeste Prüfstände zu verfügen, erklärlich ist und sogar dazu geführt hat, einige bei Versuchsfahrten mögliche Messungen bei deren Behandlung zu übersehen oder nicht zu berücksichtigen. Da als Zweck der Versuche ausdrücklich, sowohl bei den Prüfstand- wie den Fahrversuchen, die Feststellung des Dampf- und Kohlenverbrauchs der Lokomotiven für die Leistungseinheit festgelegt ist, und zwar bei den Prüfstandversuchen unter besonders festgelegten Bedingungen, bei den Fahrversuchen unter den Bedingungen des Betriebsdienstes, wird in der Tat zugegeben werden müssen, daß die Laboratoriumversuche in allen solchen Fällen zu weit zuverlässigeren Ergebnissen führen werden, wo man bestimmte Arbeitslagen namentlich hinsichtlich der Geschwindigkeit und der Zylinderfüllung längere Zeit aufrecht erhalten will.

Die amerikanischen Streckenversuche sind, da sie die Betriebsbedingungen wiederholen sollen, mit den bei uns üblichen nicht ohne weiteres in eine Reihe zu stellen, da wir uns in Deutschland bei dem sehr beklagenswerten Mangel eines ortfesten Prüfstandes[2]) hinsichtlich des Beharrungszustandes, soweit es geht, den Laboratoriumversuchen zu nähern suchen, und diese mit den Betriebsbedingungen in der Regel nur dann annähernd übereinstimmen, wenn es sich um Schnellzüge oder Durchgangsgüterzüge handelt. Eine weitere Abweichung vom eigentlichen Betriebe besteht bei unsern deutschen Versuchen darin, daß wenigstens in einer großen Zahl von Fällen Züge gefahren oder Bedingungen gestellt werden, die schwerer als bei den planmäßigen Zügen sind, um die Leistungsgrenzen der Lokomotiven festzustellen. Auch das wurde bereits angedeutet, daß die amerikanischen Leistungsnormen bei Versuchsfahrten einige Werte nicht messen, die bei uns stets bestimmt werden, ja daß bei uns selbst mehrere Werte bestimmt werden, die nicht einmal die Prüfstandversuche vorsehen.

Die amerikanischen Leistungsnormen stellen in der Reihenfolge die genaueren

Prüfstandversuche

voran und verlangen hier folgende Angaben und Messungen:

a) die Zylinder- und Treibradabmessungen, die rechnungsmäßig in die Leistung eingehen;
b) die Hauptabmessungen des Kessels (Rostfläche, Heizfläche, Kesselvolumen);
c) die Arbeitsbedingungen, Lage der Steuerung und des Reglers;
d) die Geschwindigkeit;
e) die Indikatordiagramme;
f) die Temperatur des Laboratoriumsraumes, Speisewassers, Kesselwassers, Heißdampfes und der Verbrennungsgase;
g) den Barometerstand;
h) die relative Luftfeuchtigkeit;
i) den Kesseldruck;
j) die Luftverdünnung in Aschkasten, Feuerbüchse und Rauchkammer;
k) die Dampffeuchtigkeit im Dom;
l) das Gewicht des Speisewassers und den Verbrauch durch Hilfseinrichtungen, sowie Verluste durch Undichtigkeiten;
m) das Gewicht der verfeuerten Kohle;
n) das Gewicht der Asche;
o) das Gewicht der Lösche;
p) Analyse und Heizwertbestimmung von Kohlen, Asche und Lösche;
q) die Rauchgaszusammensetzung;
r) die Rauchbeschaffenheit;
s) die Zugkraft;
t) Angaben über Hilfsmaschinen.

Die Prüfstandmessungen selbst sollen möglichst so vollzogen werden, daß die Lokomotive auf Tragrollen gesetzt wird, die dann in geeigneter Weise unter Messung der übertragenen Leistung abgebremst werden, wobei durch ein Dynamometer auch die Zugkraft am Zughaken gemessen wird. Als erwünschter größerer Bestandteil des Prüfstandes wird dann noch eine Trenn- und Sammelvorrichtung für Lösche und Funken genannt.

Neben diesen großen Hauptgeräten wird eine Reihe von kleineren Meßeinrichtungen angeführt. Dies sind Geräte zum Abwägen des Speisewassers, sowie der Kohlen, der Asche und Lösche, eine genaue Teilung für das Wasserstandglas, die nötigen Manometer, Luftleeremesser, Thermometer und Pyrometer, Geschwindigkeitsmesser, Indikatoren mit ihrem Antriebgestänge, eine Einrichtung zur Entnahme von Prüfdampf mit Drosselkalorimeter, eine Einrichtung zur Entnahme von Gasproben und je ein Apparat für Gasanalysen, zur Heizwertbestimmung des Brennstoffes und zur Bestimmung der Rauchdichte, sowie die nötigen Planimeter, Mikrometer usw.

Augenblicklich besitzen folgende Hochschulen ortfeste Lokomotivprüfungen:

Purdue University, Lafayette, Ind.
University of Illinois, Urbana, Ill.
Iowa State University, Ames, Iowa.

Diese Laboratorien übernehmen unter gewissen Bedingungen Aufträge zum Prüfen von Lokomotiven. Hinzu kommt noch der Prüfstand der Pennsylvaniabahn in Altoona, Pa.

In dem ausführlich gehaltenen Abschnitt über die Vorbereitungen der Versuche wird unter anderm die Forderung aufgestellt, die Hauptabmessungen der Lokomotive, die in die Berechnung der Leistung eingehen, möglichst nicht nur den Werkzeichnungen zu entnehmen, sondern durch wirkliche Messungen festzustellen. Ferner soll darauf geachtet werden, daß die Zylinderachsen genau parallel zum Rahmen verlaufen, die Kurbeln überall unter 90° versetzt sind, der Rost keine gebrochenen Teile enthält und Blasrohr und Schornstein ausgerichtet sind. Die bei der Aufführung der Vorarbeiten gewählte Reihenfolge ist z. T. nicht recht verständlich.

Großer Wert wird auf möglichst genaue Bestimmung der Undichtigkeiten gelegt. Außerdem soll die Vorgeschichte der Lokomotive berücksichtigt werden; das Protokoll verlangt nämlich die Angabe der seit der letzten größeren Ausbesserung zurückgelegten Fahrstrecke und der in letzter Zeit vorgenommenen kleinen Ausbesserungen, des Kesselsteinbelages an Kesselwand und Rohren, des Speisewassers und eine Nachprüfung der Steuerung.

Es folgt dann eine sehr eingehende Vorschrift über die Anbringung der Meßgeräte, die möglichst ebenso angeordnet werden sollen, wie man es bei Versuchen an ortfesten Anlagen zu tun pflegt, soweit es die besonderen Verhältnisse der Lokomotive gestatten. Die Wassergefäße, für die gebräuchliche Größen angegeben werden, sollen so angeordnet werden, daß ihr Wasserspiegel möglichst dem des Tenders entspricht. Kleinere sind vorgesehen für das Messen des Schlabberwassers.

Soweit die Manometer zu kleine Teilung haben, sollen sie durch besondere Versuchsgeräte mit möglichst feiner Teilung ersetzt werden. Die Rohre der Luftleeremesser sollen möglichst bis zur Mitte der Rauchkammer geführt werden. Für das Heißdampf-Thermometer ist keine genauere Anweisung gegeben; nach unsern Erfahrungen muß Vorsorge getroffen werden, einer Naßdampfwandung (Sammelkasten) nicht zu nahe zu kommen, da sonst die Anzeige zu tief bleibt. Für die Messung der Luftverdünnung in der Feuerbüchse sollen, wenn möglich, hohle Stehbolzen benutzt werden. Die Geschwindigkeit soll vorwiegend durch Umlaufzähler und erst in zweiter Linie durch Meßgeräte festgestellt werden, die auf elektromagnetischer Grundlage beruhen.

Die Dampfproben sollen, wie unter k) erwähnt, am Dom entnommen werden, zur Feststellung der Dampffeuchtigkeit Drosselkalorimeter dienen. Die Probeentnahme für die Analyse der Rauchgase soll in der Rauchkammermitte erfolgen. Als Brennstoff soll die Kohle des wirklichen Betriebes oder sonst die am Prüfstand verfügbare verwandt werden. Der Versuchsheizer soll mit der Kohle genügend vertraut sein. Der Entnahme der Kohlenproben soll große Sorgfalt geschenkt werden, für die chemische

[1]) „Mechanical Engineering" Bd. 45 Oktober 1923 S. 602.
[2]) Die beschlossene Errichtung wurde durch den Kriegsausbruch und die spätere ungünstige Finanzlage verhindert.

Analyse und Heizwertbestimmung sind die bereits bestehenden Normen für Analysen maßgebend. Das gleiche gilt für Asche und Lösche.

Der Kessel soll möglichst ausgelitert und die am Wasserstandglas angebrachte Teilung mit entsprechenden Zahlen versehen werden. Ferner ist zu versuchen, die den Sicherheitsventilen entweichende Dampfmenge festzustellen und ebenso den Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen in der Zeiteinheit zu messen.

Die Betriebsbedingungen, die im Arbeiten bei jeweils bestimmten Füllungen und Geschwindigkeiten bestehen, sollen so gleichmäßig wie möglich während des Versuches innegehalten werden, insbesondere sind Feuerung, Kesseldruck, Geschwindigkeit und Bremsbelastung unveränderlich zu halten. Die Bedienung des Feuers soll in der Hand geschickter Heizer liegen, und zwar während einer Versuchsreihe stets desselben Mannes, damit subjektive Verschiedenheiten nach Möglichkeit ausgeschaltet sind. Der Kessel soll auf der Feuer- wie auf der Wasserseite möglichst rein sein. Bei länger dauernden Versuchsreihen ist nötigenfalls eine Auswaschung einzuschalten. Nach je ein oder zwei Versuchen soll nachgeprüft werden, ob die wasser- und feuerberührte Heizfläche der Heizrohre noch rein ist.

Der Aschkasten soll bei Beginn der Versuche leer sein, damit man ein zuverlässiges Aschegewicht erhält. Bei Beginn der Versuche soll möglichst ein neues Feuer auf dem Rost vorhanden sein, oder falls nicht angängig, soll das Feuer sorgfältig abgeschlackt und frisch beschüttet werden. Die Lokomotive soll in Gang gesetzt werden, wenn sich ein ordnungsmäßiges ebenes Feuer auf dem Rost befindet, und die Beobachtung erst dann beginnen, wenn die Arbeitsverhältnisse während 10 Minuten gleichgeblieben sind. Die Dauer des einzelnen Versuches soll mindestens drei Stunden betragen, nachdem der Kohlen- und Wasserverbrauch gleichmäßig ist.

Der Normenentwurf enthält sodann Anweisungen für die Auswertung der Ergebnisse und die Aufstellung des Versuchsprotokolls. Die Reihenfolge der Darstellung ist hier insofern nicht logisch, als die Auswertung der Ergebnisse vorangeht, die doch auf die Zahlen und Abmessungen des Protokolls stets verweisen muß, sachlich indes insofern zu verteidigen, als sie diejenigen Verhältniszahlen und Werte, auf die es ankommt, nötigenfalls unter Erläuterung in den Vordergrund kehrt. Das Protokoll selbst ist von außerordentlich großer Ausführlichkeit und bei Aufzählung der Abmessungen stellenweise von pedantischer Gründlichkeit. Beispielsweise erstreckt sich die Aufzählung der Kesselabmessungen auf 21 Werte, und eine Reihe von Maßen ist aufgeführt, die bei der Auswertung der Versuchsergebnisse niemals benutzt werden.

Ich beschränke mich deshalb darauf, die aus den unmittelbaren Ablesungen berechneten Verbrauchs- und Leistungswerte hier anzuführen. Es sollen bestimmt werden:

- die Umlaufzahl der Triebräder i. d. Min.,
- die zugehörige Strecken- und Kolbengeschwindigkeit,
- die Speisewassertemperatur an einer Stelle, wo Wärme noch nicht zugeführt sein kann,
- die für die Verbrennung der Kohle in Betracht kommenden Werte für Luftfeuchtigkeit und Barometerstand, sowie die Rauchbeschaffenheit,
- die verfeuerte Kohlenmenge,
- die Dampffeuchtigkeit im Dom,
- die Überhitzung im Zweigrohr,
- das insgesamt verdampfte und das dem Kessel zugeführte Wasser, deren Mengen dann nicht dieselben sind, wenn der Wasserstand bei Beginn und Abschluß des Versuchs nicht der gleiche ist.

Bei der Messung des zugeführten Wassers soll bei Lokomotiven mit Mischvorwärmer unterschieden werden zwischen dem Speisewasser, das aus dem Tender stammt, und dem rückgewonnenen Kondensat. Auch die beiden Teilen zukommenden Wärmemengen sollen möglichst getrennt bestimmt werden. Endlich ist auch für den Fall, daß bei Beginn und Abschluß der Versuche Dampfdruck und Temperatur verschieden waren, ein Berichtigungsglied für den Wasserinhalt vorgesehen.

Die Wasser- und Naßdampfverluste sollen durch Messen oder Schätzen festgestellt werden, ebenso diejenige Menge überhitzten Dampfes, die auf dem Wege zu den Zylindern verloren gegangen ist. Bei der Verdampfung wird unterschieden, wie viel Dampf in Gewichteinheiten in der Stunde in den Überhitzer gelangt ist und wieviel als Naßdampf Verwendung gefunden hat. Der Durchgang an Wärmeeinheiten für die wasserverdampfende und Überhitzerheizfläche soll absolut, wie auch auf Zeit und Flächeninhalt bezogen, und der Wirkungsgrad des Kessels in Hundertteilen aus der gesamten dem Wasser und Dampf zugeführten Wärmemenge, dividiert durch das Produkt aus der Menge und dem Heizwert der verfeuerten Kohle festgestellt werden.

Hinsichtlich des Kohlenverbrauches ist zu versuchen, diejenige Aequivalentmenge zu bestimmen, die dem Verlust an Wasser und Dampf entspricht. Der Kohlenverbrauch für 1 PSh soll sowohl für die Kohle, wie sie verfeuert wurde, wie auch für Trockenkohle festgestellt werden. Die Verbrauchzahlen für 1 PSih sollen den Dampfverbrauch in Gewichteinheiten, den Kohlenverbrauch jedoch angesichts der stets vorgenommenen Heizwertbestimmung in Wärmeeinheiten angeben. Dagegen ist der Kohlenverbrauch für 1 PSh am Zughaken auch in Gewichteinheiten anzugeben, und zwar ebenfalls für die natürliche Beschaffenheit wie für Trockenkohle, während es sich beim Dampf stets um den Gewichtaufwand handelt. Die Maschinenreibung ist in Hundertteilen der Zughakenleistung und alsdann noch der Wirkungsgrad der Lokomotive als Quotient von Nutzleistung zu indizierter Leistung, sowie endlich der Gesamtwärmewirkungsgrad der Lokomotive festzustellen.

Die Streckenversuche

haben ebenfalls die Bestimmung des Kohlen- und Wasserverbrauchs für die Leistungseinheit zum Gegenstand, und zwar unter den Bedingungen des Streckendienstes. Der Normenentwurf führt aus, daß der Streckenversuch notwendigerweise zu weniger genauen Ergebnissen führen muß als der Laboratoriumsversuch, und zwar weil der Kohlen- und Wasserverbrauch und einige andre Daten auf der Strecke schwieriger als im Laboratorium zu messen sind und sich ferner erhebliche Schwankungen der Geschwindigkeit, Zugkraft und Füllung nicht vermeiden lassen. Die Normen fordern deshalb, daß in allen Fällen, wo es auf genaue Werte ankommt, die Lokomotive auf einem ortfesten Prüfstand untersucht werden soll. Auf jeden Fall gehört nach amerikanischer Ansicht ein großes Maß von Geschicklichkeit dazu, um aus einem Streckenversuch brauchbare Ergebnisse zu erhalten.

Die vorzunehmenden Messungen sind im großen und ganzen die gleichen wie beim Prüfstandversuch. An die Stelle der Laboratoriumstemperatur tritt sinngemäß die der Außenluft. Auf die Feststellung des Barometerstandes wird im Gegensatz zum ortfesten Versuch verzichtet, was immerhin auffällig ist, da für den hier in Frage kommenden Luftwiderstand der Barometerstand ebenso bedeutungsvoll oder bedeutungslos ist, wie auf den Verlauf des beim Laboratoriumversuch genauer verfolgten Verbrennungsvorganges. Die Luftleere wird nur noch in der Rauchkammer gemessen, obgleich es nicht die geringsten Schwierigkeiten macht, diese auch beim Fahrversuch in Feuerbüchse und Aschkasten festzustellen. Kohle und Asche sollen gleichfalls gewogen werden. Den Verzicht auf das Wiegen der Lösche kann man insofern verstehen, als diese nur einen Teil der übergerissenen Kohlenstückchen enthält und die Funken auf der Fahrt naturgemäß nicht gemessen werden können.

Abweichend vom Laboratoriumsversuch tritt naturgemäß die Angabe über das Gewicht des Zuges auf, die noch ergänzt werden soll durch die Aufschreibung seiner Länge, der Art und Zahl der Wagen, Verteilung beladener und leerer Wagen im Zuge, des Schmierungszustandes und der Bremseinrichtungen, sowie durch einen Vermerk über Wind, Wetter und Schienenverhältnisse. Unter nochmaliger Unterstreichung der Unsicherheiten des Fahrversuches geben die Leistungsnormen den Rat, diesen in der Regel nur dann anzustellen, wenn die äußeren Einflüsse möglichst günstig sind, ein Rat, der natürlich eine unzulässige und unnötige Einschränkung der Versuche überall dort bedeutet, wo kein Prüfstand zur Verfügung steht.

Hinsichtlich der Einrichtungen für den Betriebsversuch bemerken die Leistungsnormen mit Recht, daß die Verwendung eines Dynamometers als Zugkraftmesser das Vorhandensein eines Meßwagens, der tatsächlich auch bei einer Reihe von Bahnen vorhanden ist, einschließt, auf dem noch eine Reihe von Apparaten untergebracht werden kann, die sich auf der Lokomotive selbst kaum anordnen lassen. Dahin würden z. B. die elektrischen Fernthermometer der beiden Lokomotivmeßwagen der Deutschen Reichsbahn gehören, die scheinbar in Amerika nicht bekannt oder in Anwendung sind.

Die Einrichtungen, die für den Streckenversuch für erforderlich gehalten werden, umfassen

a) das Dynamometer für die Messung der Zugkraft am Tenderzughaken,
b) eine Wägeinrichtung für Kohle und Asche,
c) eine Wägeinrichtung zur Kalibrierung des Tenderwasserbehälters (es ist nicht erkennbar, ob diese mitgeführt oder zur Ausmessung des Tenders vor der Fahrt benutzt werden soll),
d) Meßlatten zur Messung des Speisewassers im Tender,
e) einen Wassermesser,
f) einen genau geteilten Wasserstand,
g) ein Lot zur Feststellung der Wasserspiegelneigung,
h) einen Luftleeremesser,
i) einen Geschwindigkeitsmesser,
j) Indikatoren mit dem nötigen Zubehör,
k) eine Vorrichtung zur Entnahme von Dampfproben mit Drosselkalorimeter,
l) ein Brennstoffkalorimeter,
m) einen Hubzähler für die Luftpumpe,
n) Tragbare Wägeinrichtungen zur Feststellung des Verlustwassers.

Für die Anordnung der Einrichtungen werden einige Winke gegeben. So soll der Wassermesser in der Saugleitung derart angeordnet werden, daß man ihn auch während der Fahrt ablesen kann, und ein Rückschlagventil jeden Rücktritt heißen Wassers verhüten. Das Indikatorgestänge wird verhältnismäßig ausführlich behandelt. An jeden Zylinder soll ein Indikator mit Dreiweghahn angebaut werden, damit er von jeder Kolbenseite beaufschlagt werden kann. Die Dampfrohre sollen mindestens 19 mm l. W. haben, ohne scharfe Knicke verlegt und gegen Wärmeausstrahlung durch Umwicklung geschützt werden. Wenn Wägein-

richtungen für die Kohlen auf dem Tender nicht untergebracht werden können, sollen die Kohlen möglichst vorher gewogen und in Säcke gefüllt werden. Auch die unterwegs etwa zugenommenen Kohlen sollen genau gewogen werden. Sollte ein Kohlensack nur teilweise aufgebraucht sein, so ist die Restmenge ebenfalls zu bestimmen. Getreu der auch bei Besprechung des ortfesten Versuchs erwähnten Handhabung, wird auch hier besonderer Wert auf alle mit den Kohlen zusammenhängenden Messungen gelegt, vor allem auf sorgfältigste Probenentnahme der Kohlen für die Heizwertbestimmung.

Die Bemerkung, daß für die Bedienung der Indikatoren über den Zylindern ein geeigneter Schutzverschlag anzubringen ist, beweist eine erhebliche Rückständigkeit gegenüber unsern Versuchen, bei denen keine Indikatorbeobachter neben der Rauchkammer der Unbequemlichkeit oder Gefahr ausgesetzt werden; vielmehr werden hier Schreibwerk und Papiervorschub der Indikatoren mittels einer Akkumulatorenbatterie elektrisch und die Dreiweghähne mechanisch vom Führerstand aus gesteuert. Der Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen: der Luftpumpe, des Injektors, des Bläsers, des Kalorimeters, für Zugbeleuchtung und Heizung, sowie der Dampfverlust beim Abblasen der Sicherheitsventile sollen möglichst an der Hand von Ergebnissen geschätzt werden, die mit gleichen Einrichtungen vor dem Fahrversuch oder sonstwie erhalten worden sind.

Die Versuchsbedingungen sollen möglichst die des normalen Dienstes auf der Strecke sein. Die Unveränderlichkeit gewisser Arbeitslagen, die auf dem Prüfstand so leicht zu erzielen ist, soll auf geeigneten Teilstrecken, soweit wie irgend angängig, ebenfalls innegehalten werden. Sobald besonders geschicktes Personal, das natürlich verhältnismäßig günstige Verbrauchswerte erzielen wird, auf der Lokomotive während des Versuches Dienst tut, wird ein entsprechender Vermerk im Protokoll verlangt. Für das ordnungsmäßige Arbeiten des Sandstreuers soll gesorgt werden, damit Schleudern der Maschine und also Dampfverbrauch ohne entsprechende Nutzleistung vermieden wird. Die Ablesungen selbst sollen während der Fahrt nach Zurücklegung bestimmter Entfernungen oder sonst an bestimmten Punkten angestellt werden. In das Protokoll soll weiter die Ankunft- und Abfahrzeit auf jeder Haltestelle aufgenommen werden, die Zeit, die der Regler geöffnet, Bläser, mechanische Rostbeschickung, Zugbeleuchtung und Heizung angestellt waren und die Sicherheitsventile abbliesen.

Bei Aufenthalten von mehr als 5 min soll die während dieser Zeit verbrauchte Kohlenmenge aus der Zahl der aufgeworfenen Schaufeln geschätzt werden. Das Feuer soll so gehalten werden, wie es die Beförderung des Zuges erfordert, wobei besonderer Wert auf eine ebene Brennstoffschicht gelegt wird, und bei Anfang und Abschluß des Versuches gleich sein. Während des Aufenthaltes auf den Haltestellen sind Messungen unzulässig. Die letzteren sollen erst vorgenommen werden, wenn eine genügende Gleichmäßigkeit erzielt, und zwar bei Versuchen von längerer Dauer in Abständen von je 10 min unter gleichzeitiger Aufnahme von Indikatordiagrammen und Aufschreibung der Zugkraft. Diese Zeitspanne ist nach unsern Begriffen außerordentlich lang.

Die Vorschriften für Abfahrt und Ankunft am Ende der gesamten Fahrt wiederholen und unterstreichen nochmals das, was oben als Betriebsbedingung angeführt wurde. Der Versuch soll sich über eine möglichst lange Strecke ausdehnen, und zwar bei Güterzügen mindestens über einen Frachtabschnitt, bei Schnellzügen mindestens über 160 km. Als Dauer des Versuches gilt die Zeit vom Anfahren mit dem Zuge bis zu dem Augenblicke, wo der Zug am Endbahnhof zum Halten kommt, vermindert um die Zeit der Aufenthalte.

Die Berechnung der Versuchsergebnisse soll wiederum wie beim Prüfstandversuch unter Beachtung der im Normenentwurf enthaltenen Ausführungsbestimmungen und unter Benutzung des diesen angeschlossenen Protokollmusters erfolgen. Nicht sofort verständlich erscheint die Bemerkung, daß die Länge der Fahrt aus den Angaben über die Drehzahl der Räder bestimmt werden soll, da sie doch sehr einfach aus dem Streckenplan bekannt ist. Eine Erklärung könnte nur darin gefunden werden, daß bei Güterzügen die Lokomotive während der Fahrt Verschiebebewegungen auszuführen hat, sowie in der Berücksichtigung etwaigen Schleuderns der Räder. Die Aufschreibung der Wagen- und Tonnenkilometer, die in dem amerikanischen Protokoll vorgesehen ist, geschieht bei unsern deutschen Versuchen nicht, doch wäre hierzu nur die Multiplikation der selbstverständlich vermerkten Tonnen mit der ebenfalls bekannten Streckenlänge erforderlich. Für die Messung der durchschnittlichen Zugkraft soll ein dauernd arbeitender Zugkraftschreiber Verwendung finden. Auch wird zur Feststellung der Beförderungsarbeit am Zughaken die Anwendung eines Planimeters empfohlen, das unmittelbar die Integration der Zugkraft über dem Weg ausführt, wobei dann die durchschnittliche Zugkraft durch Division mit dem Weg erhalten wird. Andernfalls soll das Mittel aus einer genügenden Zahl von Zugkrafteinzelablesungen zu dem gleichen Ergebnis führen, und die wirkliche Nutzleistung unter Zugrundelegung dieser durchschnittlichen Zugkraft bestimmt werden. In gewissen Augenblicken sind die indizierte und die Nutzleistung gleichzeitig zu messen und der Gesamtwirkungsgrad festzustellen. Ebenso soll die höchste Zugkraft in das Protokoll aufgenommen und in Beziehung gesetzt werden zu der Zugkraft während mindestens einer Radumdrehung.

Hinsichtlich des Schemas für das Protokoll gelten die gleichen Bemerkungen, wie für die Versuche auf dem Prüfstande. Das Protokoll ist wiederum außerordentlich, z. T. fast pedantisch ausführlich. Von den eingehenden Angaben über das Aussehen des Zuges wird z. B. kein Gebrauch gemacht, etwa in der Richtung, sie in eine Widerstandformel umzusetzen oder vorhandene Formeln nachzuprüfen. Bei der Angabe des Kohlen- und Wasserverbrauchs für 1 PS_ih vermißt man eine Aufklärung darüber, wie die PS_i-Stunden festgestellt wurden, da ein Zähler für die indizierte Leistung, wie er gelegentlich bei früheren deutschen Versuchen bereits Verwendung gefunden hat und neuerdings in verbesserter Gestalt demnächst allgemein Verwendung finden soll, in Amerika scheinbar nicht bekannt ist. Daher können die PS_i-Stunden nur als algebraisches Mittel der aus einzelnen Diagrammen ermittelten indizierten Leistungen, multipliziert mit der Fahrtdauer in Stunden, festgestellt werden. Dieses Ergebnis kann naturgemäß sehr unsicher sein, wenn nicht in sorgfältiger Weise die Dauer der einzelnen Füllungen in Betracht gezogen wird, und steht deshalb in einem gewissen Gegensatz zu der verlangten oder doch empfohlenen Feststellung der Zughakenarbeit mittels integrierender Dynamometer. Die gleiche Unsicherheit kommt dann dem mechanischen Wirkungsgrad der Lokomotive zu, der den letzten Punkt des Versuchsprotokolls bildet.

Vergleich mit Lokomotivprüfungen bei der Deutschen Reichsbahn.

Den deutschen Leser wird vor allem ein Vergleich mit der bei uns üblichen Art der Lokomotivprüfung interessieren. Als Unterschied muß man hier nun feststellen, daß der Hauptwert bei uns auf die Ermittlung des Dampfverbrauches gelegt wird und die Kohlen demgegenüber etwas zurücktreten. Eine Berechtigung dieses Standpunktes ist darin zu erblicken, daß der Dampf ein physikalisch homogener Körper ist, während der Heizwert der Kohlen schwankt, namentlich bei unserm z. Zt. bunt zusammengewürfelten Kohlenmarkt; auch darin, daß die Wirtschaftlichkeit vorwiegend durch die Dampfausnutzung gegeben ist. Die amerikanischen Versuche legen, wie aus der bisherigen Darstellung erkennbar ist, außerordentlich hohen Wert auf die Analyse des Verbrennungsvorganges, sogar unter Einbeziehung des Barometerstandes und der Luftfeuchtigkeit, wobei dahingestellt bleiben mag, ob dies nicht schon etwas zu weit geht. Aber auch bei unserm einfacheren Verfahren verzichten wir natürlich nicht auf die Messung der Kohlen und Angabe des Verbrauches für die Leistungseinheit der Menge nach; es wäre immerhin eine wünschenswerte Ergänzung, wenigstens bei wichtigeren Fahrten auch den Heizwert der verfeuerten Kohle zu bestimmen und den spezifischen Verbrauch in kcal/PSh anzugeben. Rauchgasanalysen mit dem Orsat-Apparat (im Meßwagen) sind auch bei uns im Gebrauch.

Die Ermittlung der Zughakenleistung auf dem Prüfstand unterscheidet sich von der bei uns üblichen Messung am Tenderzughaken dadurch, daß bei dem amerikanischen Verfahren der Widerstand der Lauf- und Tenderachsen und der Luftwiderstand nicht als von der indizierten Leistung abzuziehende Werte erscheinen. Der amerikanische Normenentwurf stellt denn auch fest, daß das Verhältnis von Zughakenleistung zu indizierter Leistung im Betriebe von dem entsprechenden Laboratoriumwert etwas abweicht. Die oben angeführte Begründung findet sich indes nicht angegeben und auch kein Hinweis darauf, daß der Laboratoriumswirkungsgrad etwas höher liegen muß, da er ja die Reibungsverluste der reinen Laufachsen und den Geschwindigkeitswiderstand nicht enthält. Im übrigen darf wohl in wirtschaftlicher Hinsicht der Wirkungsgrad für den Tenderzughaken als wichtiger bezeichnet werden, während für den Grenzfall der Reibung der auf dem Prüfstand gemessene und anders garnicht meßbare Wirkungsgrad für den Radumfang durchaus Beachtung verdient.

Die Dampfwirkung in der Maschine im weitesten Sinne wird zweifellos bei unsern deutschen Versuchen sorgfältiger behandelt. Die Amerikaner messen lediglich den Kesseldruck und die Temperatur des Heißdampfes im Zweigrohr, während wir bei unsern Versuchen stets auch die Schieberkastenspannung und -temperatur feststellen, so daß sich ein Bild über die Spannungs- und Temperaturverluste in der Leitung zu den Zylindern gewinnen läßt. Stets messen wir den für Feueranfachung und Gegendruck im Zylinder wichtigen Blasrohrdruck. Ferner werden bei uns auch die Durchgangsquerschnitte und Wandreibungsverhältnisse des Überhitzers festgestellt, während die Gebrauchsanweisung für das amerikanische Protokoll dafür keinerlei Anweisung enthält. Unsere Temperaturmessungen sind weiterhin in der Richtung vollkommener, als wir nicht nur die Temperatur des Speisewassers im Tender, sondern auch hinter dem Vorwärmer messen und auch die Temperatur des Auspuffdampfes im Vorwärmer bei eingehenderen Untersuchungen berücksichtigen.

Es könnte vielleicht erwogen werden, die amerikanischen Normen für Leistungsversuche, da solche unsres Wissens an andrer Stelle für Lokomotiven noch niemals aufgestellt worden sind, als Muster zu übernehmen, vielleicht auch aus dem Gesichtspunkte heraus, daß bei Lokomotivlieferungen an solche Länder, die im Wettbewerb mit den Vereinigten Staaten beliefert werden, von der kaufenden Bahnverwaltung Versuche zur Feststellung der Leistung oder der Verbrauchzahlen gefordert werden sollten. Diese Frage wird man verneinen müssen, so lange ein

ortfester Prüfstand nicht zur Verfügung steht, auch aus dem Grunde, weil die Festlegung der Belastungen bei Betriebsfahrten keinen Bezug auf das Programm nimmt, das dem Lokomotiventwurf zugrunde gelegt wurde. Bei der Erprobung neuer Lokomotivgattungen kommt es aber gerade auf die Erfüllung des Entwurfprogramms an, das in der Regel die Anforderungen des derzeitigen Betriebes im Hinblick auf die Zukunft etwas übersteigen wird.

Die Leistungsnormen würden übrigens auch einer erheblichen redaktionellen Überarbeitung unterzogen werden müssen, da die Reihenfolge der einzelnen Punkte nicht immer als zweckmäßig anerkannt werden kann und mancherlei Wiederholungen nicht vermieden worden sind. Sie sind auch insofern einer Ergänzung bedürftig, als namentlich bei den ortfesten Versuchen noch nähere Bestimmungen über die einzelnen Arbeitslagen und Geschwindigkeiten ausdrücklich aufzuführen wären; in dem amerikanischen Text sind diese nur von den Anordnungen des Versuchsleiters abhängig gemacht. So gewiß nun auch sachgemäße Anordnungen von diesem erwartet werden dürfen, so müßte doch von Leistungsnormen, wenn sie schon aufgestellt sind, verlangt werden, daß sie eine Ausdehnung des Versuches bis zu den Höchstleistungen, die aus dem Kessel herausgeholt werden können, und bis zu Geschwindigkeiten vorschreiben, die möglichst noch über der betrieblich zugelassenen Höchstgeschwindigkeit liegen. Endlich würde systematisch der Zusammenhang zwischen Füllung, Umlauf, Dampf- und Kohlenverbrauch durch eine größere Anzahl von Versuchen wenigstens bei besonders bemerkenswerten Lokomotivgattungen festzustellen sein. Ebenso wird man sich bei den Betriebsversuchen auf der Strecke nicht auf die Verhältnisse der normalen derzeitigen Zuglasten und Fahrpläne beschränken dürfen, sondern wird auch hier anstreben müssen, die Leistungsgrenze der Lokomotiven zu ermitteln.

Zusammenfassend wird man aber den amerikanischen Entwurf zweifellos als eine beachtenswerte Arbeit bezeichnen müssen. Dem Bedauern über das Fehlen eines ortfesten Prüfstandes in Deutschland wurde bereits Ausdruck gegeben. Was aus den deutschen Streckenversuchen herausgeholt wird, kann indes, abgesehen von der weniger eingehenden Kohlenverbrauchprüfung, ohne Überhebung als vollkommener als die amerikanischen Versuche bezeichnet werden. [A 2120]

Drehstrommotoren mit Selbstanlauf.

Von Dipl.-Ing. A. Weddige.

Entwicklung der Drehstrommotoren mit Selbstanlauf. — Verschiedene Anordnungen der letzt n Jahre. — Der selbstanlaufende Motor, Bauart Weißberg-Simpler

Als vor etwa 30 Jahren der Drehstrominduktionsmotor herauskam, herrschte unter den Elektrotechnikern große Freude darüber, daß man nun eine Maschine habe, die durch Einfachheit nicht nur des Aufbaues, sondern auch des Betriebes zu den größten Hoffnungen berechtigte. Da der Läufer lediglich unter dem Einflusse der induzierenden Wirkung des Ständerstromes arbeitete und somit Zuleitungen nicht nötig waren, fiel der unangenehme Kollektor der Gleichstrommaschine fort. Leider zeigte es sich aber, daß diese Erwartungen zu kühn waren. Gewiß, der Induktionsmotor lief mit einem Kurzschlußläufer an, aber der Einschaltstrom betrug das 4- bis 5fache, das Anzugmoment dagegen kaum mehr als das Einfache des normalen Betriebstromes, und um ein solches Anzugmoment zu erzielen, war es notwendig, dem Motor eine unverhältnismäßig große Schlüpfung von etwa 5 bis 8 vH zu geben, die natürlich bei normalem Betriebe bestehen blieb. Um diesen Nachteilen zu begegnen, ging man den beiden Hauptteilen des Motors zu Leibe, dem Ständer und Läufer.

Beim Ständer handelt es sich darum, die zugeführte Spannung in der Zeit des Anlaufens herabzudrücken, was mit Sterndreieck-Schalter, Ständeranlasser und Anlaßtransformator erreicht wurde. Alle diese Maßnahmen konnten aber nur bei Antrieben angewandt werden, die kein großes Anzugmoment erforderten. Sinkt doch beim Sterndreieck-Schalter das Anzugmoment auf oder gar unter das 0,5fache des normalen Drehmoments, und bei den andern genannten Verfahren ist es nicht viel anders.

Weiter voran kam man durch die Behandlung des Läufers. Man änderte die Kurzschlußwicklung in eine Phasenwicklung, die mit ihren Enden an Schleifringe geführt und von dort aus durch Schleifbürsten und besondere Leitungen über Anlaßwiderstände geschlossen wurde. Diese Anlaßwiderstände gaben beides, was dem Kurzschlußanker zu seinem Nachteil fehlte: gedämpften Anlaufstrom und hohes Anzugmoment, dadurch, daß sie dem Rotor vorgeschaltet und in einem Anlasser stufenweise bis zum Kurzschluß abgeschaltet wurden. Aber wo war jetzt die Einfachheit des Betriebes geblieben? Hatte man nicht einen Motor mit allem Zubehör wie beim Gleichstrom? Einzig die Schleifringe stellten ein harmloseres Stromübertragungsglied dar als der Kommutator. Und hier setzte auch gleich eine weitere Verbesserung ein, die Kurzschluß- und Bürstenabhebung zum Vermeiden der Bürstenreibung, des Bürstenverschleißes und zum Verringern der Querschnitte der Läuferzuleitungen. Einfacher wurde der Betrieb dadurch gerade nicht, im Gegenteil, es war jetzt noch ein Glied in der Bedienungskette dazugekommen, das bei fehlerhafter Behandlung zu Störungen führen konnte. Man kam deshalb darauf, den Anlasser gleich an den Motor anzubauen und durch entsprechende Verriegelung ein zwangläufiges Einschalten der Reihenfolge der Bedienungsgriffe zu erzwingen. Das wurde auch erreicht, aber die Bedienungselemente selbst blieben.

So ist es denn begreiflich, daß eine eifrige Erfindertätigkeit einsetzte, um einen Drehstrommotor zu schaffen, der mit hohem Anzugmoment bei geringem Stromstoß anlief, dabei jedoch lediglich durch einen Hebelschalter bedient zu werden brauchte. Die erste Bewegung dieser Art fällt in die Zeit um das Jahr 1900. Die EAG vormals Schuckert & Co. baute den Anlasser auf der Welle des Motors auf, ließ ihn mit den Anlaufwiderständen umlaufen und schaltete den Stufenschalter durch Ausnützung der Fliehkraft. Auf diese Anordnung kommen wir später noch zurück. Die Firma Siemens & Halske A.-G. brachte die selbsttätige Gegenschaltung nach Görges heraus; es waren auf dem Läufer zwei Wicklungen verschiedener Drahtzahl angeordnet, die beim Anlauf gegeneinander geschaltet wurden, so daß nur der Unterschied der Amperewindungen zur Wirkung kam, während sie beim Lauf kurzgeschlossen einander unterstützten. Geschaltet wurde gleichfalls durch Fliehkraftwirkung.

Von beiden Ausführungen gingen die genannten Firmen jedoch ab, und man begnügte sich im allgemeinen mit der Bürstenabhebe- und Kurzschlußvorrichtung. Das gleiche Schicksal traf die vielen andern Erfindungen aus dem Anfange dieses Jahrhunderts, von denen einige hier vorgeführt werden mögen, um zu zeigen, auf wie verschiedene Weise man dem Problem beizukommen suchte, und weil Grundgedanken daraus auch die neuesten Ausführungen befruchtet haben dürften.

Abb. 1 zeigt eine Anordnung von Helios. Der Läufer ist in Richtung der Achse verschiebbar. Bei Einschaltung des Ständerfeldes wird infolge der abstoßenden Wirkung zwischen dem induzierenden und induzierten Felde der Läufer in Richtung der Achse aus dem Ständerfelde herausgestoßen und gelangt außerhalb des letzteren nach Erteilung einer kleinen Anfangsdrehung oder selbsttätig auf normale nahezu synchrone Umlaufzahl; nachdem er diese erreicht hat, wird er durch magnetische Anziehung wieder in das Ständerfeld hineingezogen. Ein Verfahren, den Läufer zu verschieben, hat auch die AEG angewandt.

Ferner ist eine andre Anordnung ausgeführt worden, die den Läufer breiter machte und ihm eine Kurzschlußwicklung mit hohem Widerstand aus Eisen gab und daneben die Arbeitswicklung aus Kupfer vorsah. Beim Anlauf befand sich die Kurzschlußwicklung mit dem hohen Widerstand im Ständerfelde, und der Ständer selbst wurde dann verschoben, so daß die Arbeitswicklung in den Bereich seiner Wirkung kam. Aber alle diese Ausführungen boten erhebliche Schwierigkeiten in dem mechanischen Aufbau und sind deshalb nicht zu großer Bedeutung gelangt

Die Maschinenfabrik Oerlikon führt in einem Patente von 1902 einen Widerstandring r an, Abb. 2, mit dem die wirksamen Leiter alle oder abwechselnd in einer bestimmten Reihenfolge verbunden sind und einen Kurzschlußanker von hohem Widerstand ergeben. Nach Erreichen der normalen Umlaufzahl wird durch Kurzschließen die Phasenwicklung von geringem Widerstande wirksam. Ein Patent von Geist sieht zu den Stabenden parallel geschaltete Widerstandstreifen vor, Abb. 3, die durch einen Ring geschlossen sind. Die Stabenden sind federnd und werden unter dem Einflusse der Fliehkraft gegen einen gutleitenden Kurzschlußring gepreßt.

Die Elektrizitäts-Gesellschaft Turin benutzt zum Anlauf einen Kurzschlußring geringer Leitfähigkeit, Abb. 4 und 5, und drückt unter Ausnützung der Fliehkraft Segmente hoher Leitfähigkeit gegen diesen Ring, die dann, mit ihm parallel geschaltet, seine Leitfähigkeit erhöhen. Thoresen in Bvdö bei Christiania verwendet einen pulverförmigen Körper als Widerstandstoff, dessen Leitfähigkeit sich unter dem Einflusse der Fliehkraft erhöht. Das Material ist in Kammern eingebettet, in die eine Kontaktplatte hineinragt, Abb. 6. Die Elsässische Elektrizitätsgesellschaft in Belfort läßt in einem metallenen Hohlkörper eine leitende Flüssigkeit umlaufen, die bei einer bestimmten Geschwindigkeit isolierte Kontakte miteinander verbindet und einen bis dahin eingeschalteten Widerstand kurzschließt.

Während Dovis-Kosmos in London den Eisenkörper des Läufers mit seinem verhältnismäßig hohen Widerstande zum Anlauf benutzt und die Wicklung erst nach Erreichen der vollen Umlaufzahl über Schleifringe schließt, hat Hans Sigismund Meyer vorgeschlagen, unter den Phasenleitern Anlaßwiderstände aus Eisen anzubringen. Eine Ausführung der Norddeutschen Maschinen- und Armaturenfabrik legt auf den Grund der Nuten eine hauptsächlich beim Anlauf wirkende Käfigwicklung aus runden Eisenstäben, die an den Seiten in Ringe eingenietet sind, und ordnet darüber eine Phasenwicklung aus Kupfer an, die nach Erreichen einer bestimmten Umlaufzahl kurzgeschlossen wird

Bei allen diesen Ausführungen, die durchweg aus dem Jahre 1902 stammen, sehen wir das Bestreben, der Kurzschlußwicklung beim Anlaufen einen hohen Widerstand zu geben und diesen im Betriebe zu verringern. Längere Zeit hört man dann nichts mehr von selbstanlaufenden Motoren der geschilderten Art. Im Jahre 1910 beschreibt Fischer-Hinnen einen Motor der Maschinenfabrik Oerlikon, der beachtenswert ist. Die Ankerstäbe sind nicht voll, sondern werden durch Röhren aus schlechtleitendem Metall gebildet, Abb. 7, damit der Widerstand beim Anlauf vergrößert wird. In diese Röhren werden dann geschlitzte Stifte aus gutleitendem Metall geschoben, mit denen der Motor ohne Stromstöße auf seine volle Umlaufzahl kommt.

Sehr lebhaft wird die Betätigung auf dem Gebiete der selbstanlaufenden Motoren aber erst wieder in den letzten Jahren. 1918 erscheint eine Arbeit von Rüdenberg[1]) über asynchrone Motoren mit Selbstanlauf durch tertiäre Wirbelströme. Darin wird dargelegt, daß sich tertiäre Ströme, insbesondere Wirbelströme in den Ankerleitern. zur Erhöhung des Anlaufmoments vorteilhaft verwenden lassen. Abb. 8 zeigt die Wirkung. In das Streufeld des Läufers, das beim Anlauf besonders stark ist, werden breite Metallmassen quer eingelagert, in denen sich tertiäre Wirbelströme ausbilden können. Es entsteht so ein umlaufender Transformator mit einem Tertiärkreise.

Im Jahre 1921 finden wir auf der Essener Ausstellung die Motoren von Brunken, Dunker und Schumanns Elektrizitätswerk nach Professor Punga. Zur Erläuterung des Motors von Brunken kann man auf ein Patent von Boucherot aus dem Jahre 1897 zurückgehen. Boucherot baut einen Doppelmotor mit zwei gleichen nebeneinander liegenden Feldern, Abb. 9, von denen eines mechanisch drehbar ist. In diesen Feldern laufen zwei Kurzschlußanker, die an den Enden in üblicher Weise mit Kurzschlußringen versehen und in der Mitte durch einen Ring von sehr großem Widerstande verbunden sind. Zum Anlassen werden die Felder so zueinander gestellt, daß die ungleichnamigen Pole nebeneinander liegen. Die Drähte der beiden Anker werden dann von einem entgegengesetzt gerichteten Strom durchflossen, der seinen Verlauf durch den mittleren Ring nimmt, und der Motor läuft mit hohem Widerstand im Läufer ein. Verdreht man nun das eine Feld langsam gegenüber dem anderen, so nehmen die Ströme in den beiden Ankern nach und nach die gleiche Richtung an, bis endlich der mittlere Ring stromlos wird und die beideo Anker einen einzigen mit geringem Widerstande bilden.

Brunken hat nun die beiden Gehäuse und Anker beibehalten. Die Läufer haben eine gemeinsame Käfigwicklung, die einzelnen Läuferstäbe führen frei durch die Luft von Anker zu Anker, Abb. 10. An dieser Stelle liegen einige mit jedem Stab hart verlötete Bänder aus Metall von höherem Widerstand mit großem Querschnitt zur Aufnahme der Anlaufenergie. Die beiden Gehäuse werden gegeneinander nicht mechanisch verdreht, sondern dieselbe Wirkung wird durch entsprechende Schaltung der beiden Gehäuse erzielt.

Abb. 11 zeigt die Schaltvorgänge eines Motors in Sternschaltung. Bei Anlauf sind beide Gehäuse in Reihe geschaltet, wodurch der Einschaltstrom nahezu auf den Normalstrom heruntergeht und die magnetische Induktion genau die Hälfte ihrer normalen Größe aufweist. Mittels eines auf den Motor aufgesetzten von Hand zu betätigenden Walzenschalters werden die einzelnen Phasen beider Gehäuse stufenweise so zueinander geschaltet, daß die magnetische Induktion immer mehr wächst und schließlich in der Stellung, wo beide Gehäuse parallel liegen, ihren Höchstwert erreicht. Hierauf wird die Richtung eines Feldes um 180°, auf die Polteilung bezogen, in mehreren Stufen umgekehrt, und schließlich wirken die elektromotorischen Kräfte in je einem beiden Ankern angehörigen Stab in einer und derselben Richtung. Die Widerstandbänder haben gleiches Potential und sind jetzt stromlos. Die in Zahlentafel 1 verzeichneten An-

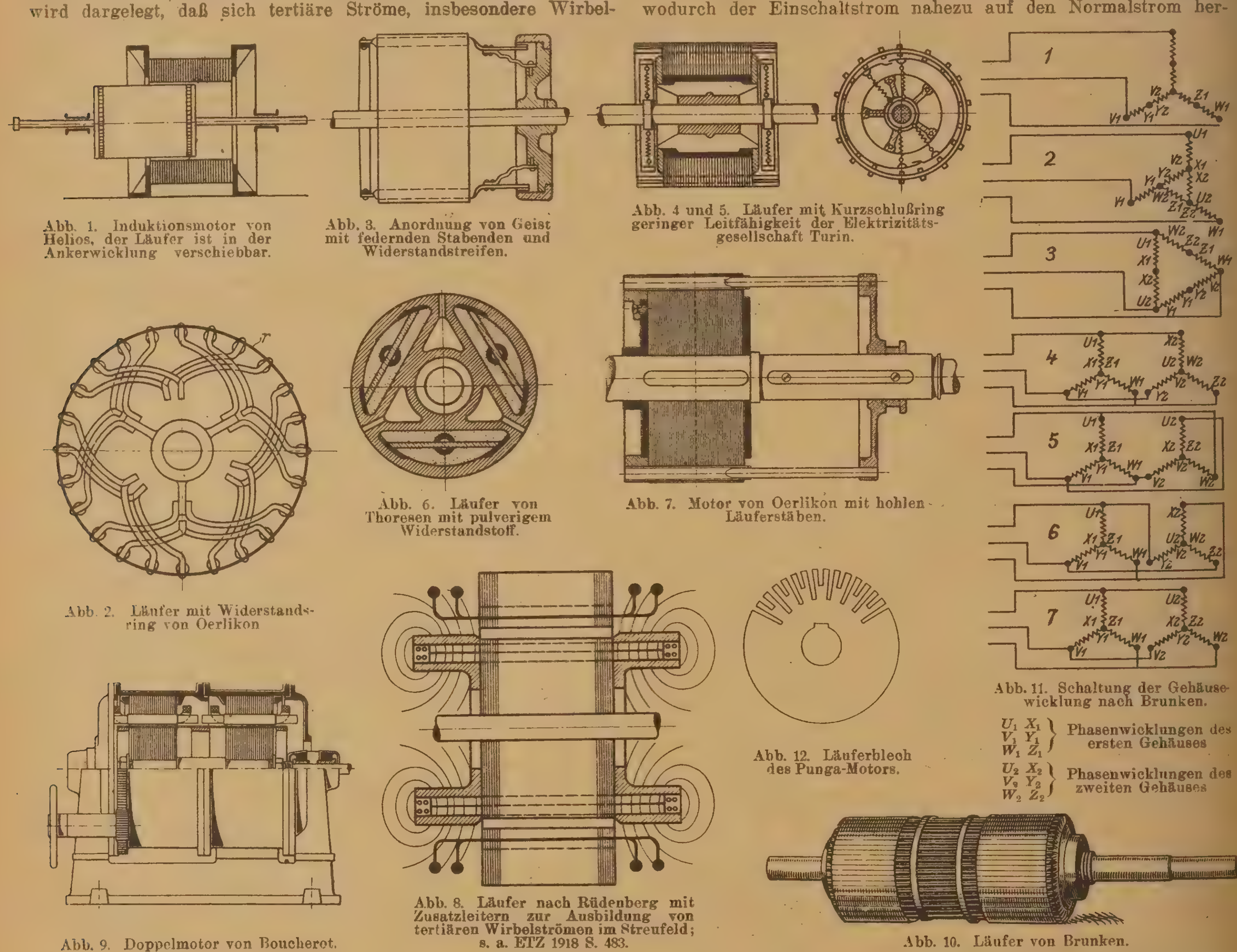


Abb. 1. Induktionsmotor von Helios, der Läufer ist in der Ankerwicklung verschiebbar.

Abb. 2. Läufer mit Widerstandsring von Oerlikon.

Abb. 3. Anordnung von Geist mit federnden Stabenden und Widerstandstreifen.

Abb. 4 und 5. Läufer mit Kurzschlußring geringer Leitfähigkeit der Elektrizitätsgesellschaft Turin.

Abb. 6. Läufer von Thoresen mit pulverigem Widerstandstoff.

Abb. 7. Motor von Oerlikon mit hohlen Läuferstäben.

Abb. 8. Läufer nach Rüdenberg mit Zusatzleitern zur Ausbildung von tertiären Wirbelströmen im Streufeld; s. a. ETZ 1918 S. 483.

Abb. 9. Doppelmotor von Boucherot.

Abb. 10. Läufer von Brunken.

Abb. 11. Schaltung der Gehäusewicklung nach Brunken.

U_1 X_1 / V_1 Y_1 / W_1 Z_1 Phasenwicklungen des ersten Gehäuses

U_2 X_2 / V_2 Y_2 / W_2 Z_2 Phasenwicklungen des zweiten Gehäuses

Abb. 12. Läuferblech des Punga-Motors.

Zahlentafel 1. Anlaufstrom und Anlaufmoment des Brunken-Motors.

Schaltstufe	1	2	3	4	5	6	7
Uml./min	0	390	1006	1300	1370	1450	1470
Anlaufstrom (Normalstrom = 1)	0,93	1,2	1,33	1,13	1,27	1,17	1
Anlaufmoment (norm. Drehmoment = 1)	0,75	1,15	1,4	1,06	1,3	1,2	1

[1]) ETZ Bd. 39 (1918) S. 483 u. f.

laufströme und Drehmomente sind einer in der ETZ veröffentlichten Kurve entnommen. Der Motor verhält sich also wie ein solcher mit Schleifringanker, hat ein gutes Anzugmoment und keine unzulässige Stromaufnahme.

Der Motor von Schumanns Elektrizitätswerk, Bauart Punga, hat eine Anlauf- und eine Arbeitswicklung. Wie der Blechschnitt, Abb. 12, zeigt, ist die Hälfte der Nuten vertieft. In diese Vertiefungen werden eiserne Stäbe eingelegt, die, mit den Endscheiben verschweißt, den Anlaufkäfiganker mit hohem Widerstande bilden. Der Skineffekt der Kurzschlußstäbe ist recht hoch gehalten, um den Widerstand dieser Käfigwicklung im Augenblick des Einschaltens vielfach zu vergrößern. Auch die

Die beiden vorbehandelten Motoren zeigen eine erhebliche Vereinfachung und wesentliche Verbesserung gegenüber dem Schleifringankermotor, Fortfall der Bürsten und des Anlassers bei gleich guten elektrischen Eigenschaften. Aber man kann sie nicht als Maschinen mit Selbstanlauf ansprechen, da noch ein Bedienungsschalter zu betätigen ist, der mehrere Handgriffe erfordert. Zum Schutze gegen Beschädigung ist ferner für den Fall des Ausbleibens der Spannung ein Nullspannungsschalter notwendig, und es muß darauf geachtet werden, daß die Maschinen vor dem Wiedereinschalten in die Anlaufstellung gebracht werden. Im Gegensatz dazu haben die jetzt zu betrachtenden Motoren vollkommen selbsttätigen Anlauf.

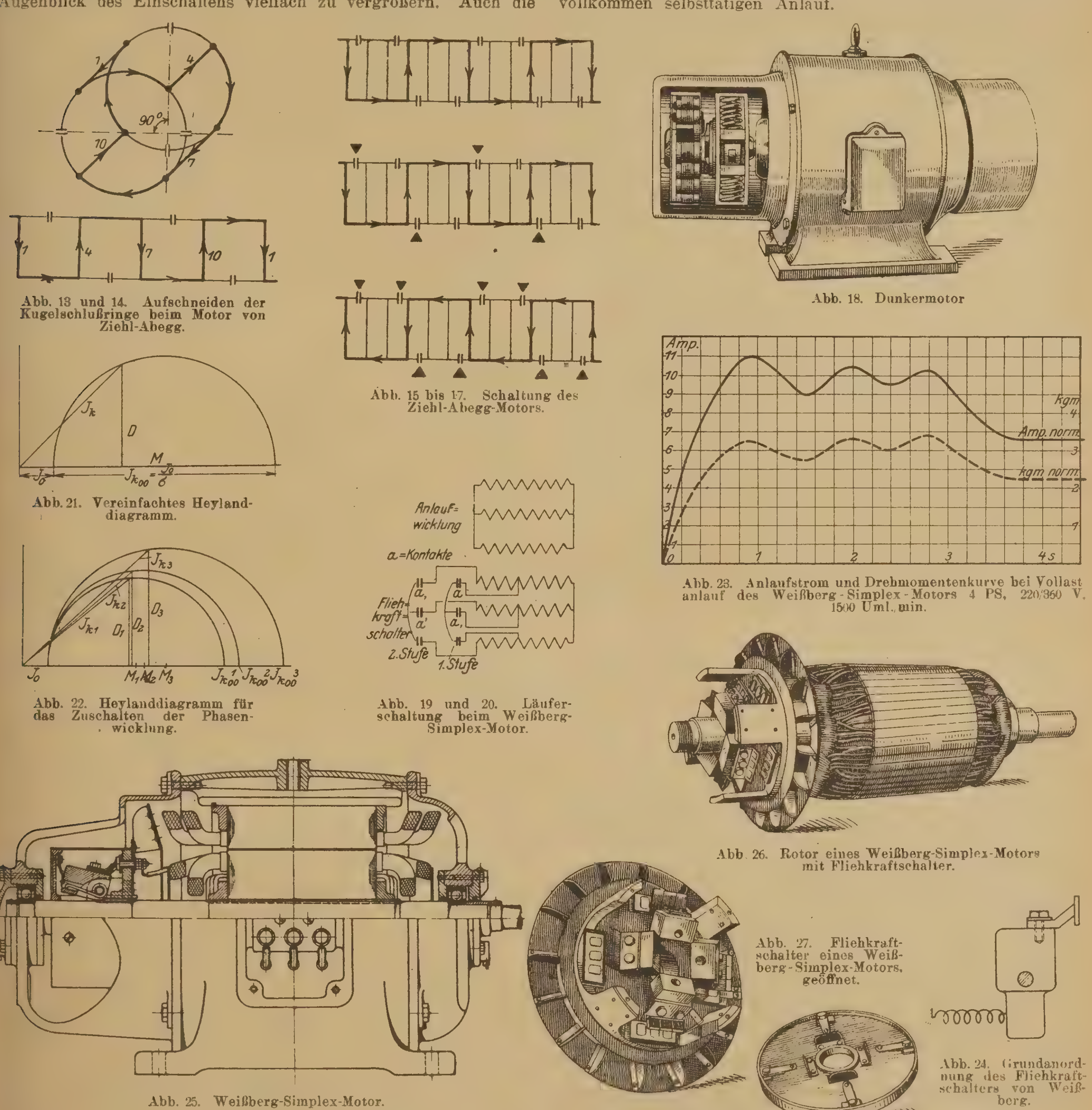


Abb. 13 und 14. Aufschneiden der Kugelschlußringe beim Motor von Ziehl-Abegg.

Abb. 15 bis 17. Schaltung des Ziehl-Abegg-Motors.

Abb. 18. Dunkermotor

Abb. 21. Vereinfachtes Heylanddiagramm.

Abb. 19 und 20. Läuferschaltung beim Weißberg-Simplex-Motor.

Abb. 23. Anlaufstrom und Drehmomentenkurve bei Vollast anlauf des Weißberg-Simplex-Motors 4 PS, 220/360 V. 1500 Uml./min.

Abb. 22. Heylanddiagramm für das Zuschalten der Phasenwicklung.

Abb. 26. Rotor eines Weißberg-Simplex-Motors mit Fliehkraftschalter.

Abb. 27. Fliehkraftschalter eines Weißberg-Simplex-Motors, geöffnet.

Abb. 24. Grundanordnung des Fliehkraftschalters von Weißberg.

Abb. 25. Weißberg-Simplex-Motor.

Streuung während der Anlaufzeit ist künstlich erhöht worden. Der verbleibende Teil der vertieften Nuten nimmt zusammen mit den unvertieften die Arbeitswicklung auf. Mit der Anlaufwicklung kommt der belastete Motor in kurzer Zeit auf eine Drehzahl, die etwa 10 vH unter der synchronen liegt. Beim Weiterschalten, das im Kurzschließen der Arbeitswicklung besteht, tritt diese unter einem zweiten Stromstoß in Wirksamkeit, und die Maschine erreicht ihre normale Umlaufzahl. Der Stromstoß beträgt beim ersten Schalten etwa das 1,3- bis 1,7fache und etwas mehr beim zweiten. Das Anlaufmoment ist etwa gleich demjenigen bei voller Last. Fehler in der Bedienung sind durch Ausbildung des Anlaßschalters ausgeschlossen.

Von der Firma Ziehl-Abegg wird ein Motor nach dem Patent Arutünoff gebaut[1]). Auch hier ist der Grundgedanke der, den Widerstand des Käfigankers beim Anlauf zu erhöhen. Erreicht wird dies durch Aufschneiden der Kurzschlußringe. Zur Erläuterung diene zunächst eine Wicklung mit 4 Stäben, Abb. 13 und 14. Durch das Aufschneiden der Ringe läuft der Rotorstrom nicht mehr in einer Nebenschluß-, sondern in einer Reihenschlußwicklung, wodurch ihm ein erheblich größerer Widerstand geboten wird. Das Verfahren läßt sich natürlich auch auf mehrere Stäbe anwenden, wie Abb. 15 bis 17 zeigen. Nach dem Anlauf

[1]) ETZ Bd. 43 (1922) S. 723.

müssen die Unterbrechungen wieder geschlossen werden. Dies geschieht durch Anwendung kegeliger Kontakte, die unter der Einwirkung der Fliehkraft die Spannung einer Blattfeder überwinden.

Diese Kontakte lassen sich in zwei Stufen nacheinander einschalten, um einen sanfteren Übergang zu erzielen. Aus dem in der Veröffentlichung angeführten Beispiel eines Motors von 3 PS geht hervor, daß dieser den 2,2fachen Anlaufstrom bei 1,3fachem Anlaufmoment aufweist. Der Anlaufstrom soll sich noch verringern lassen, wenn eine getrennte, um den ganzen Ankerumfang gleichmäßig verteilte Anlaufwicklung zur Anwendung kommt, was einleuchtender erscheint.

Der Motor von Dunker, Abb. 18, entspricht der früheren Schuckert-Ausführung, die von Dunker herrührt. Er hat einen Läufer mit Phasenwicklung und auf der Welle sitzendem Anlasser mit Anlaßwiderständen. Diese sind auf Zylinder aufgewickelt. Die Anordnung wirkt folgendermaßen: Der bewegliche Teil des Stufenschalters ist mit dem um die Achse drehbaren rechteckigen Rahmen eines Fliehkraftreglers fest verbunden, während die Schwunggewichte durch zwei Hebel so an der Achse befestigt sind, daß bei Bewegung der Gewichte nach außen zugleich eine Verdrehung des Reglers auf der Achse stattfindet. Anlaufstrom und Anzugmoment lassen sich bei diesem Motor natürlich genau so günstig wie bei jedem Motor mit Schleifringanker gestalten. Aber man muß die schleifende Drehbewegung der Kontaktbürsten, die jedem von normalen Anlassern her geläufig ist, und den Mitumlauf der Widerstände in Kauf nehmen.

Die Volta-Elektrizitäts-A.-G. hat einen von Weißberg erfundenen Motor herausgebracht, dessen Läuferschaltung Abb. 19 und 20 zeigen. Dieser sogen. Weißberg-Simplex-Motor[1]) hat gleichfalls eine Anlaufwicklung von höherem Widerstande, jedoch nicht aus Eisen, sondern aus besser leitendem Metall, da sie gleichzeitig einen Teil der Arbeitswicklung darstellt. Sie ist als Kurzschlußwicklung ausgebildet und am Grunde der Nuten so angeordnet, daß das Anlaufmoment groß wird, ohne daß der Anlaufstrom gegenüber den normalen Anschlußbedingungen der Elektrizitätswerke zu hoch wird. Die volle Kurzschlußwicklung ermöglicht die Aufnahme einer hohen Anlaufenergie, so daß im Falle Nichtanlaufens bei Überlastung oder Unterbrechung einer Phase in der Zuleitung nicht die Störungen zu befürchten sind, die sich bei Motoren mit auf der Welle aufgebauten Anlassern ergeben haben, wo in derartigen Fällen die Lötstellen an den Widerständen durchgeschmolzen sind. Mit dieser Wicklung läuft der Motor an, und ein Fliehkraftschalter schaltet bei genau einstellbaren Umlaufzahlen die über der Anlaufwicklung liegende Phasenwicklung in zwei oder mehr Stufen ein. Die Schaltstufen, deren Zahl sich nach der Größe der Motorleistung richtet, werden so gewählt, daß während des ganzen Anlaufs das normale Drehmoment niemals unterschritten und der zulässige Stromstoß nicht überschritten wird.

Zum Verständnis des eben Gesagten nehmen wir das Heylandsche Diagramm, Abb. 21, zu Hilfe, das in vereinfachter Form aufgezeichnet ist. J_0 stellt den Leerlaufstrom dar, der Durchmesser des Arbeitskreises $J_{k\infty}$ ist gleich $\frac{J_0}{\sigma}$. Das größte Drehmoment D_{max} ist gleich dem Halbmesser des Kreises $\frac{J_{k\infty} - J_0}{2}$.

Wie aus den vorstehenden Gleichungen hervorgeht, ist dieser Halbmesser bei gleichbleibendem J_0 lediglich von dem Streuungsbeiwert σ, der somit allein die Größe des Arbeitskreises bestimmt, abhängig. Dieser Beiwert ist ganz allgemein eine Funktion der Nutenform, Nutenzahl und des Abstandes der Nuten von der Drehachse des Motors. Je nach Wahl dieser Größen kann man bei einem Motor verschieden große Arbeitskreise unter gleichbleibendem J_0 erhalten. Nun ist das höchste Drehmoment ganz unabhängig vom Läuferwiderstand. Dieser bestimmt nur die Lage des Stillstandpunktes, und man kann durch die Wahl des Läuferwiderstandes diesen Punkt, der mit dem Punkte für den Anlauf des Motors zusammenfällt, auf den Kreisen verlegen. Nach den allgemein festgesetzten Vorschriften sind für den Anlaufstrom ganz bestimmte Werte verlangt, die nicht überschritten werden dürfen. Aufgabe der Berechnung ist es nun, das größtmögliche Anlaufmoment bei dem zugelassenen Anlaufstrom zu erreichen.

Durch eingehende Versuche sind die Nutenform und der Rotorwiderstand ermittelt worden, die den günstigsten Punkt auf dem günstigsten Arbeitskreis ergeben. Dieser Arbeitskreis gilt natürlich nur während des ersten Augenblicks des Anlaufs. Mit abnehmendem Schlupf nimmt das Drehmoment ab, und es ist Vorsorge zu treffen, daß es nicht kleiner als das normale wird. Deshalb wird im geeigneten Augenblick die Phasenwicklung zugeschaltet, und es gilt dann ein größerer Arbeitskreis, Abb. 22. Um den Stromstoß nicht unzulässig hoch werden zu lassen, wird nur ein Teil dieser Wicklung zugeschaltet, die Wahl der Schaltstufe bestimmen ähnliche Überlegungen wie bei der Anlaufwicklung. Mit steigender Umlaufzahl wird der ganze Läufer eingeschaltet, bis als Endzustand derselbe erreicht wird, wie bei einem Schleifringankermotor nach dem Kurzschließen.

[1]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 375.

Die Schaulinien Abb. 23 zeigen, daß der ausgeführte Motor den vorstehenden Überlegungen entspricht. Die Stromkurve wurde mit einem selbstaufzeichnenden Strommesser von Hartmann & Braun aufgenommen, die Drehmomentenkurve wurde nach den Arbeitsdiagrammen gezeichnet. Bei einem Anlaufstrom etwa gleich dem 1,7fachen Normalstrom beträgt das Drehmoment ungefähr das 1,5fache des normalen. Nach Verlauf von etwa 1,5 s wird der erste Teil der Läuferphasenwicklung eingeschaltet; das Drehmoment beträgt dabei immer noch das 1,25fache des normalen, während die Stromstärke auf den 1,35fachen Betrag der normalen zurückgegangen ist. Beim Einschalten des Restes der Phasenwicklung nach etwa 2,5 s tritt nochmals ein ebenso hoher Stromstoß auf und nach etwa 3,5 s hat der Motor seinen normalen Betriebzustand erreicht. Ein Motor größerer Leistung mit mehr Schaltstufen ergibt eine ähnliche Kurve mit mehr Buckeln.

Beim Weißberg-Simplex-Motor ist entsprechend den Anforderungen der Praxis Wert darauf gelegt worden, das höchste Anzugmoment bei zulässigem Anlaufstrom zu erzielen. Wird eine solche Maschine für noch größere Anzugmomente verlangt, so läßt sie sich natürlich ohne weiteres auch dafür bauen. Man muß sich dann aber mit dem höheren Anlaufstrom abfinden, wie dies bei jedem Schleifringankermotor unter gleichen Verhältnissen der Fall ist. Naturgesetze lassen sich eben nicht aus der Welt schaffen.

Wie schon angedeutet wurde, wird die Phasenwicklung selbsttätig unter Ausnützung der Fliehkraft zugeschaltet. Zur Erläuterung der Weißbergschen Konstruktion diene Abb. 24.

Ein Schwunggewicht ist um eine rechtwinklig zur Motorachse liegende Achse drehbar gelagert und wird durch eine kräftige Spiralfeder abgedrückt. Läuft der Motor nun mit der Kurzschlußwicklung an, so überwindet nach Erreichen einer festgelegten Umlaufzahl die Fliehkraft des Schwunggewichtes den Widerstand der Feder, und das Schwunggewicht drückt die Kontakte gegen die zugehörigen Segmente. Es kommt also jede drehende Bewegung der Kontaktbürsten, deren Unannehmlichkeiten, wie schlechter Kontakt infolge von Schmelzperlen, Verbrennen der Kontaktstücke durch Schmorstellen usw., hinlänglich bekannt sind, in Fortfall. Wir haben einen reinen Tastschalter vor uns, der durch seine schrägen Bürstenfedern, die in der Richtung seiner Bewegung liegen, sich reibend auf die Kontaktplatte drückt.

Die konstruktive Durchbildung des Motors mit dem Fliehkraftschalter zeigen Abb. 25 bis 27. Der Fliehkraftschalter sitzt in einem Gehäuse, das staubdicht abgeschlossen ist. Die vom Läufer kommenden Kontakte sind in einem Kreise auf der Stirnwand des Gehäuses, dem Kontaktträger, isoliert angebracht. Die Gegenkontakte sitzen auf Schwunggewichten, die um in Augenlagern ruhende Achsen ganz zur Motorachse drehbar sind; die Augenlager sind an der Stirnwand befestigt. Die Federn sitzen auf der Drehachse und sind nach besonderer Art gewickelt. Mit einem Ende sind sie an der Stirnwand des Kontaktträgers, mit dem andern am Gewicht befestigt. Zum Erzielen der verschiedenen Schaltstufen, d. h. Zeitpunkte des Einschaltens, werden verschiedene Gewichte und Federn verschiedener Spannung angewandt. Eine zu diesem Zweck entworfene Eichvorrichtung dient dazu, die Fliehkraftschalter genau einzustellen.

Zu beachten ist noch die Bremsfeder, die folgende Aufgabe hat: Es kommt häufig vor, daß Motoren im Betriebe Stöße aufnehmen müssen, die eine Beanspruchung über das normale Drehmoment darstellen und zu einem Rückgang der Umdrehungszahl führen. Ohne die Bremsfeder würden dann die Gewichte mit den Kontaktfedern abklappen. Dies verhindert die Bremsfeder, die bei solchen Stößen das Gewicht in seiner Kontaktlage festhält. Sie ist so abgestimmt, daß sie erst bei einer dem Kippmoment entsprechenden Überlastung das Schwunggewicht freigibt.

Zum Schlusse seien nochmals die Vorzüge eines Motors mit Selbstanlauf zusammengefaßt:

1. Fortfall des Anlassers, der Rotorleitungen, demzufolge Ersparnis an Material, an Montagekosten und an Platz.
2. Vereinfachung des Anschlusses.
3. Fortfall der Bürsten und Schleifringe und damit Ersparnis an Teilen, die dem Verschleiß unterliegen.
4. Einfachste Bedienung auch von gänzlich unkundiger Hand, da lediglich ein Hebelschalter zu schließen oder zu öffnen ist. Durch Anwendung von Kugellagern wird die Wartung noch erheblich vereinfacht.
5. Fortfall eines Nullspannungsausschalters, da der Motor beim Ausbleiben der Spannung von selbst in seine Anlaufstellung zurückkehrt und, wenn er wieder unter Spannung gesetzt wird, nicht in der Kurzschlußstellung stehen bleibt. [1943]

Die Erforschung der Windverhältnisse.

Von Dr. Martin Rosenmüller.

Die Beständigkeit des Windes an Hand von meteorologischen Aufzeichnungen. Winke für das Aufsuchen günstiger Windlagen. Welche Energiemengen stehen zur Verfügung und welcher Bruchteil kann im Idealfalle hiervon ausgenutzt werden? Die unerläßlichen Vorarbeiten und die Wahl des Aufstellungsortes in Verbindung mit den erforderlichen Meßinstrumenten.

Das immer dichter werdende Netz der Überlandzentralen mit seinen leicht anschließbaren, stets arbeitsbereiten Elektromotoren hat in den letzten Jahren den friedlichen Wettbewerb der Windkraftanlagen selbst unter Verhältnissen, wo Windkraftanlagen mit Aussicht auf guten Erfolg in Wettstreit treten konnten, vielfach zugunsten der Überlandzentralen entschieden. Der Grund hierfür ist häufig in der noch weit verbreiteten irrigen Ansicht der beteiligten Kreise zu suchen, der Wind könne wochenlang ausbleiben und damit die Zuverlässigkeit einer Windkraftanlage vollkommen in Frage stellen. Dieser „Launenhaftigkeit" des Windes will man sich nicht aussetzen. Es gilt daher zu zeigen, daß die Häufigkeit günstiger Winde größer ist, als gemeinhin angenommen wird und für einen geordneten Betrieb von Windkraftanlagen ausreicht. In den statistischen Aufzeichnungen der meteorologischen Stationen und Institute ist ein genügender Beobachtungsstoff vorhanden.

Um die hier festgelegten Beobachtungen für den vorliegenden Zweck vergleichbar zu machen, ist es angebracht, auf die Einheiten einzugehen, in welchen in der Meteorologie die Windstärken üblicherweise angegeben werden. Es sind hier zwei Wege gebräuchlich: 1) die aus Schätzung der Windstärke gefundene Festlegung nach der dreizehnteiligen Skala der Windstärken nach Beaufort und 2) die Messung der Windgeschwindigkeit mittels Anemometers in m/s. Um das in der Literatur enthaltene Zahlenmaterial ineinander überführen zu können, dient die Zahlentafel der Beaufortgrade[1]).

Für den Anlauf technisch vollkommener, leichtgehender Windmotoren ist eine Mindestwindstärke von ungefähr 2 m/s erforderlich, für den wirtschaftlichen Betrieb Geschwindigkeiten bis ungefähr 8 m/s.

Es entsteht nun die Frage nach der prozentischen Häufigkeit dieser Winde im Laufe des Jahres in den verschiedenen Teilen des Reiches. Eine Windstatistik des Preußischen Meteorologischen Institutes zu Berlin, Zahlentafel 1, zeigt, daß mittlere stündliche Windstärken in den brauchbaren Grenzen von 3 bis 8 m/s während ungefähr 6900 Stunden des Jahres herrschen. Das entspricht einer Häufigkeit von 78 vH, das Jahr zu 8760 Stunden gerechnet.

Zahlentafel 1.

Windgeschwindigkeiten in m/s	während Stunden
3 bis 3,99	1350
4 „ 4,99	1661
5 „ 5,99	1722
6 „ 6,99	1287
7 „ 7,99	868
	6888

Ein noch anschaulicheres Bild gibt eine Windstärkenkurve, welche darstellt, während wie vieler Stunden des Jahres der Wind in einer Stärke über einen vorgesetzten Betrag hinaus weht[2]). Z. B. bläst während ungefähr 6400 Stunden des Jahres ein Wind von mindestens 5 m/s Geschwindigkeit. Aus Zahlentafel 2 und der Windstärkenkurve ergibt sich eine mittlere jährliche Windstärke von 5 m/s, um die sich die Stundenmittel mit ziemlich auseinandergehenden Einzelwerten gruppieren. Aber auch die Augenblickswerte der Geschwindigkeit weichen je nach der Windunruhe von den Stundenmitteln ab. Der tägliche Gang zeigt dabei, soweit es sich nicht um besondere Witterungslagen handelt, ein Anschwellen der Windstärke früh und abends als Folge des Temperaturwechsels. Von den Jahreszeiten ist der Sommer die windschwächste Zeit.

Aus dem angezogenen Zahlenmaterial geht mit Deutlichkeit hervor, daß die Bedenken über ein längeres Ausbleiben des Windes unbegründet sind, und daß während eines beträchtlichen Teiles des Jahres für den Betrieb von Windkraftanlagen günstige Winde wehen. Die verschiedenen Gegenden des Reiches zeigen natürlich je nach ihrer Lage bedeutende Abweichungen von den Mittelwerten. Für die Errichtung von Windkraftanlagen gilt es daher, die günstigen Lagen aufzusuchen[3]). Aus dem großen Zahlenmaterial der angeführten Arbeit seien als Beispiel, wie groß die Unterschiede der prozentischen Häufigkeiten der Windrichtung und Geschwindigkeit nach Schwellenwerten sein können, die Angaben für Freiberg i. Sa. und Leipzig angeführt, dargestellt in Zahlentafel 2.

Die Aufzeichnungen der meteorologischen Stationen können nicht ohne weiteres auf die Windverhältnisse am geplanten Aufstellungsort einer Windkraftanlage übertragen werden. Es überlagern sich noch die örtlichen Verhältnisse, wie sie durch die unmittelbare Umgebung des Aufstellungsortes gegeben sind. Hindernisse irgendwelcher Art, Geländewellen, einzelne größere Baumgruppen können erhebliche Abweichungen hervorrufen und bewirken, daß der Aufstellungsort für eine bestimmte Windrichtung im Windschatten liegt. Es gilt daher, das Turmgerüst der Windmotoren so zu bemessen, daß die Unterkante des Windrades in einem Umkreis von ungefähr 300 bis 400 m alle Hindernisse überragt. Da die Windgeschwindigkeit überdies mit ganz vorübergehenden Ausnahmen mit der Erhebung über den Boden nicht unbeträchtlich zunimmt, ist auch aus diesem Grund eine möglichst hohe Bemessung des Turmgerüstes vorteilhaft.

Die weitaus wichtigste Frage ist jedoch die nach der Energiemenge, welche der Wind im Höchstfall abzugeben imstande ist. Der gesamte Energiefluß, welcher sekundlich durch eine senkrecht zur Windrichtung gestellte Fläche F strömt, ist gegeben durch die Gleichung

$$L = \frac{\varrho\, v^3 F}{2};$$

für Luft von 15 °C und 760 mm Q.S. und $F = 100\ \text{m}^2$ (entsprechend einem äußeren Windraddurchmesser von 11,3 m) wird diese Leistung in PS ausgedrückt durch

$$L = 0{,}082\, v^3\ \text{PS}.$$

Die gesamte Windleistung kann jedoch nicht an das Windrad abgegeben werden, da die Geschwindigkeit v hinter dem Winde nicht gleich Null werden kann. Es wird nur ein Bruchteil nutzbar gemacht. Der Vorgang der Energieabgabe ist wie folgt zu denken: Das Windrad erzeugt innerhalb seiner geschlossenen Randkurve einen Drucksprung der Art, daß jedes durch die Fläche innerhalb der geschlossenen Randkurve durchtretende Luftteilchen eine Druckverminderung von dem konstanten Betrage $p_1 - p_2$ erfährt. Der Drucksprung erzeugt hinter dem Windrad einen Strahl von niedriger Geschwindigkeit als außerhalb der Strömungsröhre. Abb. 1 zeigt, wie man sich die Strömung ungefähr zu denken hat. Wilhelm Hoff[4]) hat gezeigt, daß diese Geschwindigkeit im abfließenden Luftstrom im Höchstfall ein Drittel der Windgeschwindigkeit außer-

[1]) Die dreizehnteilige Skala der Windstärke von W. Köppen, Ann. d. Hydr. usw. XXXXIV. Jahrg. 1916 Heft 2; vergl. auch diese Zeitschrift 1923 S. 1036.

[2]) S. Z. Bd. 67 (1923) S. 1040, Abb. 6.

[3]) Hier sei auf die Veröffentlichung von Richard Aßmann „Die Winde in Deutschland" hingewiesen, die im Auftrag der Motorluftschiff-Studiengesellschaft in Berlin bearbeitet worden ist.

[4]) „Theorie der idealen Windkraftmaschine", Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1920 S. 15.

Zahlentafel 2.

Leipzig, 30 Jahre 1876 bis 1905. — Freiberg, 30 Jahre 1876 bis 1905.

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	Summe	Prozentische Häufigkeit der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeiten nach Schwellenwerten	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	Summe
32 871 Beobachtungen										Jahr	32 802 Beobachtungen									
3,0	3,0	3,4	4,7	6,8	4,9	4,1	3,2		33,1	0 bis einschl. 2 m/s	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2		1,5
4,0	5,3	5,0	3,8	8,7	11,0	8,4	6,8		53,0	über 2 „ „ 5 „	4,2	2,4	3,8	5,5	5,7	5,5	5,2	5,8		38,1
0,5	1,1	1,0	0,3	1,1	3,0	2,2	1,2		10,4	„ 5 „ „ 10 „	6,4	3,0	3,9	5,8	5,6	7,4	8,4	10,3		50,8
0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1		0,9	„ 10 „ „ 15 „	0,7	0,3	0,2	0,4	0,6	1,5	1,9	2,0		7.6
—	0,0	0,0	—	—	0,0	0,0	0,0		0,0	„ 15 . . . . „	0,1	0,0	0.0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2		0,7
7,5	9,5	9,5	8,8	16,7	19,2	14,9	11,3	2,0	100,0	..... zusammen	11,5	5,8	8,0	11,9	12,3	14,7	15,9	18,5	1.3	100.0

halb der Randkurve sein kann. Bei der idealen Windkraftmaschine ergibt sich hiermit eine größte Leistung

$$L_{\max} = \frac{8}{27} \varrho\, v^3 F.$$

Dieser theoretische Idealfall wird aber in der Praxis infolge von Reibung- und Wirbelverlusten nicht erreicht. Bei einem Gütegrad von 0,9 des Windrades wird die praktisch erreichbare Höchstleistung

$$L_{\max} = \frac{7{,}2}{27} \varrho\, F\, v^3.$$

Das Ergebnis sagt aus, daß selbst im Idealfalle nur zwei Drittel der gesamten Windleistung ausgenützt werden können.

In Zahlentafel 3 ist für verschiedene Geschwindigkeiten die gesamte Windleistung, die höchsterreichbare theoretische und die praktische für Luft von 16 °C und 760 mm Q.S. bei einer Fläche innerhalb der Randkurve von 100 m², entsprechend einem Windraddurchmesser von 11,2 m, dargestellt. Die Höchstleistungen stimmen mit den Leistungen eines Rheinsch-Patentstahl-Windmotors überein, gemessen an der Hauptachse des Flügelrades.

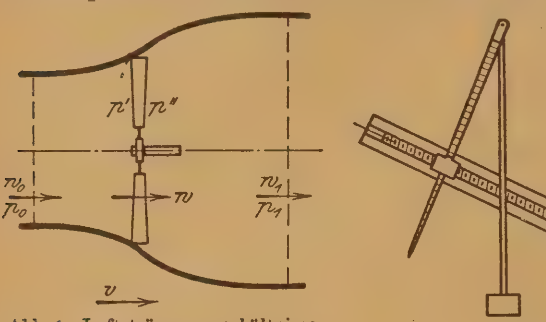


Abb. 1. Luftströmungsverhältnisse am Windrade.

Abb. 2. Baumhöhenmesser.

Zahlentafel 3.

	Gesamt-Windleistung in PS/100 m² bei 15 °C und 760 mm Q.S.	$L_{\max}$ theoret. in PS	$L_{\max}$ prakt. in PS
1	0,08	0,048	0,043
2	0,6	0,38	0,34
3	2,2	1,3	1,2
4	5,2	3,1	2,8
5	10	6	5
8	42	25	22
10	82	48	43
20	650	380	342
50	10 200	6 040	5 440

Aus der Zahlentafel ist zu ersehen, wie gewaltig die Windleistungen mit der Windgeschwindigkeit zunehmen. Für die Anlagen im Flachland ist dabei mit den Leistungen zu rechnen, die einer Windstärke von 4 bis 5 m/s entsprechen. Die Windstöße, die im allgemeinen ungefähr 30 vH stärker als die Stundenmittel sind, kommen jedoch bezüglich der Leistungsabgabe nicht in Betracht, da sie von zu kurzer Dauer sind, um vom Windrad aufgenommen zu werden.

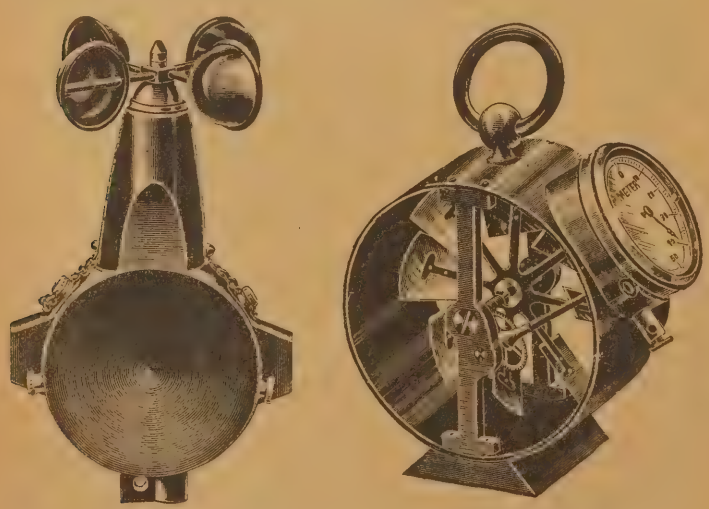


Abb. 3. Schalenkreuz-Anemometer.

Abb. 4. Flügelrad-Anemometer.

Die Betrachtungen über die Windstärken, ihre Häufigkeiten und die erzielbaren Leistungen haben zur Genüge gezeigt, daß die Wahl des Aufstellungsortes mit der größten Sorgfalt vorgenommen und durch Messungen der Windstärken und Ausmessen des Geländes vorbereitet werden muß. Im allgemeinen wird hierbei so vorgegangen, daß das Gelände im Bereiche des Aufstellungsortes durch Augenschein aufgenommen wird und gegebenenfalls die Höhen von Hindernissen im Umkreis von 300 bis 400 m des am günstigsten gedachten Aufstellungsortes ausgemessen werden. Mit Vorteil verwendet man hierfür ein ganz einfaches Tascheninstrument, den Weiseschen Baumhöhenmesser. Er besteht aus einem einfachen Diopterrohr, welches auf den höchsten Punkt des Hindernisses eingestellt wird. Die Entfernung des Fußpunktes des Hindernisses vom Beobachter wird an der Entfernungsskala, die senkrecht zum Diopterrohr in eine Führung eingeschoben wird, eingestellt. Ein am oberen Ende der Entfernungsskala angehängtes Pendelgewicht stellt sich dann an der Höhenskala am Diopterrohr auf die Höhendifferenz „Aufstellungsort des Beobachters — höchster Punkt des anvisierten Hindernisses" ein. Abb. 2 zeigt schematisch die Anordnung dieses einfachen Gerätes. Ein günstiger Aufstellungsort wird stets der Rücken einer Geländewelle sein, die in genügender Nähe der Arbeitstätte liegt. Hat man sich nun für den Aufstellungsort entschieden, so wird man hier möglichst eine längere Zeit Windmessungen vornehmen lassen.

In erster Linie kommen hierfür Schalenkreuzanemometer in Frage, für vorübergehende Messungen Flügelradanemometer. Das Robinsonsche Schalenkreuzanemometer ist eine Windmühle mit senkrechter Achse und 4 halbkugelförmigen Schalen, die an den Enden der vier Flügel befestigt sind (Abb. 3). Die Eigenart dieser Konstruktion bringt es mit sich, daß sie auf alle Windrichtungen ohne weiteres anspricht. Das Flügelradanemometer (Abb. 4) stellt im wesentlichen eine kleine Windkraftanlage dar in Verbindung mit einem Drehzahlmesser. Es muß daher wie eine Windturbine durch eine geeignete Vorrichtung (Windfahne, oder von Hand) stets in den Wind gehalten werden. Damit die aus den Ablesungen aller Registrierungen berechneten Mittelwerte der Geschwindigkeiten mit den wahren mittleren Geschwindigkeiten übereinstimmen, ist Bedingung, daß die Eichkurve dieser Instrumente eine gerade Linie ist. Sie stellt den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Schalenmittelpunkte bzw. den Druckmittelpunkten der Flügel- und der Windgeschwindigkeit dar[1]).

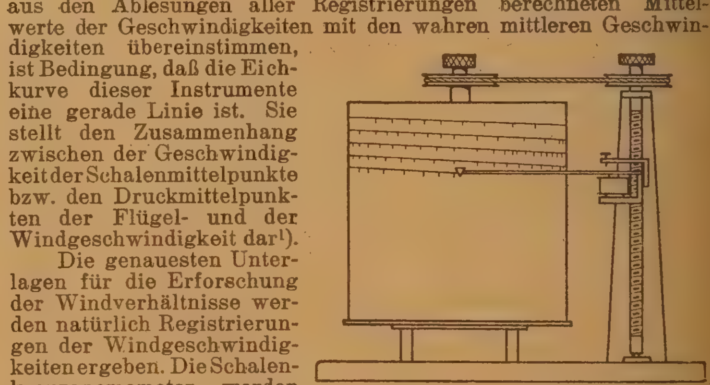


Abb. 5. Registriervorrichtung mit elektromagnetischem Schreiber.

Die genauesten Unterlagen für die Erforschung der Windverhältnisse werden natürlich Registrierungen der Windgeschwindigkeiten ergeben. Die Schalenkreuzanemometer werden hierfür mit einem elektrischen Kontaktwerk ausgerüstet, das nach 10000 m Windweg unkorrigiert einen Stromkreis schließt, in den eine Registriervorrichtung mit elektromagnetischem Schreiber eingeschaltet ist (Abb. 5). Diese Universalregistriervorrichtung, die auch für die verschiedensten anderen Zwecke der Industrie Verwendung finden kann, besteht im wesentlichen aus der von der Uhr angetriebenen Trommel, die stündlich einmal umläuft. Von einer Schnurrolle an der Achse der Schreibtrommel aus wird mittels eines Drahtspiralriemens eine parallel zur Trommel angeordnete Spindel getrieben. In diese Spindel ist ein tiefes Gewinde von 4 mm Ganghöhe eingeschnitten, an dem sich der Schreibwagen mit dem elektromagnetischen Schreiber niederschraubt. In 24 Stunden senkt sich der Schreibwagen von oben bis unten und beschreibt auf dem Registrierstreifen eine Spirallinie von 24 Gängen von 4 mm Ganghöhe. Jeder vom Anemometer gegebene Kontakt wird als ein kleiner zur Spirallinie senkrechter Strich markiert. Aus dem Abstande dieser Marken läßt sich dann mit Hilfe eines beigegebenen Maßstabes die korrigierte Geschwindigkeit in Sekundenmeter ablesen. Bei starken Winden folgen trotz des ziemlich großen Papiervorschubes von 6,28 mm/min die Kontaktstriche ziemlich eng aufeinander, so daß eine sehr genaue Ausmessung nicht erfolgen kann. Auf dem Maßstab ist daher eine zweite Teilung angebracht, die je 5 Kontaktlängen zusammenfaßt. Die mittleren Tagesgeschwindigkeiten in Sekundenmeter erhält man, falls das Anemometer kein fortlaufendes Zeigerwerk enthält, durch Auszählen der gesamten Kontakte eines Tages, multipliziert mit 1000 und dividiert mit der Gesamtmeßdauer in Sekunden. Dieser so gefundene Mittelwert der Geschwindigkeit in m/s ist zuletzt mit Hilfe der beigegebenen Eichkurve des Anemometers auf die wahre mittlere Geschwindigkeit zu berichtigen. Steht für die Erforschung der Windverhältnisse nur sehr beschränkte Zeit zur Verfügung, so möchten derartige Windmessungen immerhin mit Hilfe kleiner Schalenkreuz-Anemo-

[1]) „Anemometer-Studien auf der deutschen Seewarte" von Dr. G. Neumayer.

meter mit Zählwerk über einige Tage ausgestreckt werden und die aus ihnen ermittelte mittlere Windgeschwindigkeit in Vergleich gesetzt werden zu den gleichen Mittelwerten der zunächst liegenden meteorologischen Stationen, woraus dann leicht Schlüsse auf die Windverhältnisse am geplanten Aufstellungsort der Windkraftanlage gezogen werden können.

Neben den orientierenden Messungen vor Aufstellung der Windmotoren spielt die Windstärkenmessung nach Fertigstellung der Anlage zur Untersuchung des Leistungsgrades der Anlage eine wichtige Rolle. Das Anemometer muß für diese Messungen außerhalb der Randkurve in Höhe der Windmotorenachse, also im Raume der Geschwindigkeit v, aufgestellt werden, am besten vom Turmgerüst aus an einer langen, leicht ausschiebbaren Stange. Damit die Meßzeit und ihre Dauer genau mit den entsprechenden Zeiten der Leistungsmessungen übereinstimmt, wird das Anemometer mit Zeigerwerk ausgerüstet und vom Beobachterstand elektrisch ein- und ausgerückt. Gleichzeitig wird eine Stoppuhr im gleichen Stromkreis freigegeben und angehalten. Aus der Ablesung am Anemometer und der Zeit an der Stoppuhr läßt sich dann die mittlere Geschwindigkeit zur Zeit der Leistungsmessung aufs genaueste bestimmen. Nach der Ablesung werden die Zeiger des Anemometers und der Stoppuhr auf Null zurückgeführt. Die Anlage ist wieder für weitere Leistungsuntersuchungen meßbereit. [1384]

Kritische Bemerkungen zur Windstatistik in Deutschland und zur Kenntnis vom Wetter bei Technikern.

Von Prof. Dr. C. Kaßner, Charlottenburg, Technische Hochschule.

Zunächst wird vor der kritiklosen Benutzung des Aßmannschen Werkes „Die Winde in Deutschland“ durch Aufdecken einiger Mängel gewarnt; sodann wird auf die zahlreichen Beziehungen zwischen Meteorologie und Technik hingewiesen und die Notwendigkeit betont, daß Wetterangaben nicht ohne einige Kenntnisse der Wetterlehre benutzt werden sollten.

Die Frage der Ausnutzung der Naturkräfte beschäftigt viele Köpfe, besonders in Deutschland, das durch den Raub Oberschlesiens sowie des Saar- und Ruhrgebietes die besten Kohlenbergwerke eingebüßt hat. Zur Verfügung stehen außer der Kohle noch Wasser, Sonnenstrahlung, Ebbe und Flut sowie der Wind, aber nur das Wasser und der Wind haben sich bisher für uns als ausnutzbar erwiesen.

Leider ist die Windstatistik noch sehr im argen, obwohl es eine ganze Reihe recht guter Apparate und eine große Zahl von Arbeiten über die Winde verschiedener Gegenden gibt. Der Übelstand liegt darin, daß die Angaben jedes Windmeßgerätes durch seine Aufstellung stark beeinflußt werden können. Deshalb hat R. Aßmann in seiner bekannten Arbeit „Die Winde in Deutschland“ [Braunschweig 1910][1]) die Angaben der selbsttätigen Windmesser kaum verwertet, wohl aber die Schätzungen der Beobachter. Jedoch abgesehen davon hat Aßmann leider diese Werte ohne nennenswerte Kritik bearbeitet und veröffentlicht, und da sein Werk gerade in Ingenieurkreisen viel benutzt wird, möchte ich hier einige kritische Bemerkungen machen, die zum Teil auch allgemeinere Bedeutung haben.

Zunächst ist in der Stationskarte S. 3 (die in dieser Zeitschrift 1923 S. 1038 abgedruckt ist) die Station Reitzenhain etwa an der Stelle von Dresden eingezeichnet, während sie südlich davon dicht an der böhmischen Grenze auf dem Kamm des Erzgebirges liegt. Hierdurch ist die Linienführung an dieser Stelle der Karte glücklicherweise nicht sehr wesentlich gestört. Wenn man aber die noch fehlenden Angaben der Zahlentafel 2 einträgt, so sieht man die großen Lücken in der Verteilung der benutzten Beobachtungsstationen und auch gröbere Fehler. Aßmann hatte, als er das Werk verfaßte, mit der Leitung des Lindenberger Aeronautischen Observatoriums so viel zu tun, daß er, da ihm das Schreiben leicht wurde, den Text sehr rasch herunterschrieb. Dadurch wird der Wert der zahlreichen Zahlentafeln nicht verringert, sofern sie nicht ohne Kritik benutzt werden.

In der Karte sind bei jeder benutzten Station die Windwege eingetragen, die er wie folgt erhielt. Er ließ alle Windbeobachtungen nach den vier Stufen: unter 5 m, 5 bis 10, 10 bis 15 und über 15 m ordnen und daraus die prozentische Häufigkeit in jeder Jahreszeit und im Jahre berechnen. Als mittlere Geschwindigkeit in jeder Stufe nahm er das Mittel aus den Grenzen, also 2,5 m bei 0 bis 5 m, 7,5 m bei 5 bis 10 m, 12,5 m bei 10 bis 15 m und 17,5 m bei über 15 m. In der letzten Stufe wird also anders verfahren als bei den übrigen, da zwar nicht, wie Aßmann schreibt, „keine obere Grenze existiert“, sondern wir kennen sie bloß noch nicht; andernfalls müßte ja die Geschwindigkeit schließlich unendlich groß werden können. Mit 17,5 m nähert er sich sehr der unteren Grenze der Stufe, und das hätte auch in den andern Stufen geschehen sollen, und zwar unter Berücksichtigung des Klimas. An der Küste zwar werden die untersten Stufen 0, 1 und 2 seltener sein als die etwas höheren; auf Sylt z. B. ist der Wind von 4 bis 5 m der häufigste, so daß hier die mittlere Geschwindigkeit weit über 2,5 m liegt. In geschützter Lage dagegen rückt sie tief nach unten, da dort die Zahl der Windstillen groß ist. Die Regel wird aber sein, daß der Mittelwert der unteren Grenze etwas näher ist als der oberen. Aßmann multiplizierte die prozentische Häufigkeit der Gruppen in den Jahreszeiten mit dieser mittleren Geschwindigkeit der Stufen, also mit 2,5, 7,5, 12,5 und 17,5 m, addierte die Werte und erhielt so den Windweg in 100 s für das Jahr. Diese Windwegzahl schrieb er neben den Stationsort in die Karte und zog dann Linien gleichen Windweges. Vielleicht hat er diese Linien gar nicht selbst gezogen, sondern durch irgendeinen Unerfahrenen ziehen lassen, denn sonst hätte er die Mängel und Fehler doch merken müssen. So sieht man z. B. auf der Karte ein großes Gebiet mit einem Windweg von 300 bis 400 m, das von Oberschlesien über Brandenburg, Thüringen, das mittlere Rheinland, Elsaß, den nördlichen Schwarzwald bis nach Oberbayern geht. Trägt man aber alle Werte der Zahlentafel 2 (S. 18) in die Karte, so erkennt man sofort, daß, wie ja zu erwarten war, der Schwarzwald und die Rauhe Alb eine wesentlich höhere Geschwindigkeit haben und das elsässische Gebiet von dem Oberbayerns völlig trennen. Ebenso irrig ist die Ausscheidung eines windschwachen Gebietes rings um den Harz und bis ins Plauensche Vogtland lediglich auf Grund der Angaben von Celle in Hannover und von Bad Elster! In Celle hat der frühere, sonst sorgsame Beobachter den Wind stets zu gering geschätzt, und in Bad Elster erklären sich die niedrigen Werte durch die Lage im windgeschützten Tale. Es gibt aber auch Badverwaltungen und Hausbesitzervereine in Badeorten, die den Beobachter gern zu niedrigen Wind- und hohen Wärmeangaben veranlassen!

Auch viele andre Windwege sind bei kritischer Sichtung stark anzuzweifeln. Daß Posen so sehr windig sein soll, wie Aßmann angibt, ist völlig ausgeschlossen; der Grund ist vielmehr darin zu suchen, daß dort jahrelang eine ältere Dame zwar sorgfältig beobachtete, aber den Wind stets sehr stark überschätzte, wodurch Posen im ganzen binnenländischen Nord- und Süddeutschland die weitaus meisten Sturmtage erhalten hat! Die Folgerung Aßmanns, daß Posen für die Anlage eines Flughafen ungünstig sei, ist also hinfällig, ebenso seine Warnung vor Darmstadt, das einen um 85 vH größeren Windweg und fünfmal mehr Stürme als das benachbarte Frankfurt a. M. haben soll! Bei den Nordseestationen stimmen die Windwege gut überein; dagegen ist es unwahrscheinlich, daß wohl Sylt an 7 und Borkum an 16 vH aller Tage Sturm haben, das dazwischenliegende Helgoland aber nur an 4 vH. An der Ostsee gibt Rügenwaldermünde etwas zu kleine, Hela aber zu große Werte an.

Im Binnenlande sind noch die Werte von Kassel zu beanstanden. Nicht nur bedingte die örtliche Lage Eigentümlichkeiten, sondern noch mehr der frühere, längst gestorbene Beobachter, der bei Inspektionsbesuchen keiner Belehrung zugänglich war, und der nicht nur den Wind, sondern auch die Bewölkung ganz eigensinnig fehlerhaft beobachtete. Nicht weniger als 20 vH aller Beobachtungen ergaben angeblich Windstille! Das ist in Norddeutschland nur in besonderer enger Tallage möglich, nicht aber in der Gegend von Kassel.

Man muß überhaupt bei der Benutzung von Wetterbeobachtungen für nicht örtliche, sondern allgemeinere Landeszwecke stets prüfen, ob diese Beobachtungen nur örtliche Geltung haben oder auch für einen mehr oder weniger weiten Umkreis. Um hierzu eine Handhabe zu bieten, werden von den Landeswetterämtern nicht nur die Beobachtungen daraufhin kritisch geprüft und öfter mit entsprechenden Anmerkungen versehen, sondern auch von den wichtigeren Stationen eingehende Beschreibungen veröffentlicht, aus denen sowohl die Lage der Station im Orte wie auch die des Ortes selbst in bezug auf seine weitere Umgebung zu ersehen ist. Andernfalls empfiehlt sich eine Anfrage beim Landeswetteramt.

Außerdem gehört aber zu einer einwandfreien Benutzung von Wetterbeobachtungen auch, daß nur solche Forscher und Praktiker sie verwenden, die einige Kenntnisse in der Wetterlehre besitzen. Physikalische oder chemische Zahlentafeln wird kaum einer aufschlagen, der nicht etwas von der Physik oder Chemie weiß, und sei es auch nur noch von der Schule her; jedoch bei der Wetterkunde fehlt selbst diese Wissensquelle meist, zumal die Physiklehrer der höheren Schulen auffallenderweise im Verhältnis weniger Sinn für dieses Fach zeigen als die Volksschullehrer. Als Seitenstück dazu ist zu erwähnen, daß Bitten um Auskunft über das Wetter von Personen der gebildeten Stände sehr viel häufiger nicht an die Landeswetterämter, sondern an Sternwarten gerichtet werden, als von Personen mit Volksschulbildung; letztere erkundigen sich offenbar vorher irgendwo (z. B.

[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 1037 u. f.

im Briefkasten der Zeitung usw.), da sie sich bewußt sind, es selbst nicht zu wissen, während jene oft glauben, daß alles, was Luft und Himmel betrifft, den Astronomen angeht.

Es liegt darin, wie auch in dem sonstigen Verhalten vieler Kreise, eine Geringschätzung der Wetterkunde, die freilich zum Teil darauf zurückzuführen ist, daß es uns noch nicht gelungen ist, das Wetter genau vorauszusagen. Daß hierin in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte erzielt sind, ist unbestreitbar; dies merkt aber das große Publikum weniger, da ihm ein Mißerfolg genügt, um das ganze Verfahren herabzusetzen und zu bespötteln. Wenn nun ferner von wohl allen Dozenten der Meteorologie an den deutschen Technischen Hochschulen über den ganz geringen Besuch ihrer Vorlesungen durch Studenten geklagt wird, so liegt die Ursache zum Teil an den armseligen Zeitverhältnissen, zum Hauptteil aber daran, daß die Meteorologie noch nicht in den Prüfungsvorschriften erwähnt ist, obwohl sie z. B. in der Wasserwirtschaft eine sehr große Rolle spielt, ebenso bei der Frage der Windkraftausnutzung, der Heiztechnik, im Luftverkehr usw. Im allgemeinen werden ja in den betreffenden Fachvorlesungen, soweit es dem Ordinarius nötig erscheint, meteorologische Angaben mitgeteilt und benutzt; daß das allenfalls für das Examen, nicht aber für die Praxis genügt, lehrt der Umstand, daß meine meteorologischen Vorlesungen verhältnismäßig ebensoviel von Männern der Praxis wie von Studenten besucht werden, wobei jene stets betonten, daß sie in der Praxis erst die Lücken ihrer Wetterkenntnisse gemerkt hätten.

Kaum ein Gelehrter, der sein eigenes Fach gründlich beherrschen will und dessen Fortschritte eifrig verfolgt, kann sich auch in den Nebenfächern völlig auf dem laufenden halten, und es ist falsche Scham oder Überhebung, das nicht einzugestehen. Wer nun noch dazu weiß, welche gewaltigen Fortschritte die Meteorologie in den letzten vierzig Jahren gemacht hat, so daß in manchen wichtigen Punkten selbst neuere Lehrbücher schon veraltet und überholt sind, und selbst wir Fachleute Mühe haben, nur einigermaßen uns laufend zu unterrichten, der wird begreifen, wie sehr stets Nichtfachmänner im engeren Sinne mit ihrem meteorologischen Wissen notwendigerweise zurückbleiben müssen. Das ist rein menschlich, wie auch ein Ordinarius mir offen gestand, obwohl ich gerade von ihm etwas mehr erwartet hätte, als aus seinen Fragen hervorging. Was aber soll man dazu sagen, wenn ein hervorragender Ingenieur, der Verkehrsmaschinen baut, mich frug: „Wozu braucht man eigentlich die Meteorologie?" Dabei rechnete er bei seinen Entwürfen mit den Formeln für Luftwiderstand, ohne die Art der Herleitung solcher Formeln zu kennen!

Wie kritiklos aus Mangel an Wetterkenntnissen manchmal Beobachtungen verwertet werden, lehrt folgendes Beispiel: In einem Prozeß sollte ich als Sachverständiger entscheiden, ob ein Obstgarten den Arbeitswind einer Windmühle stört. Durch Windmessungen mußte ich für einen Teil der Bäume die Frage bejahen, und es kam ein Vergleich zustande. Vorher fand ich aber in den Prozeßakten ein Gutachten des Kreisbaubeamten, worin er sich auf Windwerte stützte, die er gewissen Ministerialakten entnommen hatte. Es gelang mir, im Ministerium der öffentlichen Arbeiten die Akten zu finden und festzustellen, daß die Windangaben aus dem Jahre 1799 stammten! Ich brauche wohl kaum zu betonen, wie mangelhaft solche Bestimmungen damals ausgeführt werden konnten, und doch wurden sie mehr als 100 Jahre später zu einem Gutachten benutzt. In meinem Buche „Gerichtliche und Verwaltungs-Meteorologie" bringe ich über 100 Musterfälle, in denen der Wind eine wichtige Rolle vor Gericht gespielt hat, und die Mehrzahl davon hat Beziehung zur Technik. Andre zahlreiche Beispiele lehren die Einflüsse der andern Wetterelemente, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Sonnenschein, Regen, Schnee usw., auf die Technik. Daraus ist zu ersehen, daß wir Meteorologen gern den Ingenieuren helfen wollen, wie wir es ja auch in fast zahllosen Fällen schon getan haben, denn wir wollen aus dem Zusammenarbeiten auch lernen, ob wir unsre Beobachtungen in der oder jener Richtung ausbauen sollen, damit sie auch den Kreisen der Praxis nützen. Für manche Fragen liegt bereits genug Beobachtungsstoff vor, der zur Verwertung nur der Hilfskräfte bedarf; auch könnten daraus die Unterlagen für Doktor- und Prüfungsarbeiten gewonnen werden. [A 76]

Alexander Gustav Eiffel †

Im allgemeinen und besonders in Deutschland wird dem Ingenieur nicht die ihm nach seinen Werken zukommende Wertschätzung zu teil. Nur wenige hervorragende Köpfe haben sich zu einer allgemeinen Anerkennung ihrer Leistungen durchgerungen. Unter diesen nimmt Eiffel, der am 28. Dezember 1923 im Alter von 91 Jahren in Paris gestorben ist, eine hervorragende Stellung ein, die er sich durch sein Hauptwerk, den bekannten 300 m hohen Eiffelturm, in Paris errungen hat.

Der Gedanke, solch einen hohen oder einen noch höheren Turm zu bauen, stammt allerdings nicht von ihm, sondern von Bourdais und Sébillot. Diese Ingenieure wollten im Banne der in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts erwachenden elektrischen Beleuchtung einen Turm errichten, von dessen Krone aus Paris gewissermaßen wie von einer künstlichen Sonne des Nachts beleuchtet werden sollte, ein phantastischer, echt französischer Plan. Eiffel hat diesen Zweck bei seinem Turm nicht verfolgt. Er sah in ihm zunächst einen Ausstellungsgegenstand und außerdem eine Möglichkeit für die Ausführung von wissenschaftlichen Versuchen. So führten Windmessungen auf dem Eiffelturm zu dem überraschenden Ergebnis, daß die Windgeschwindigkeit auf 300 m Höhe um Mitternacht einen Höchstwert hat, während der Höchstwert am Fuße des Turmes um Mittag eintritt. Außerdem ist die Windgeschwindigkeit an der Spitze des Turmes rd. zwei- bis dreimal so groß wie am Fuß.

Eiffel hat auch Fallversuche mit Platten zur Bestimmung des Luftwiderstandes am Eiffelturm gemacht, ist aber zu dem Ergebnis gekommen, daß sich derartige für die Luftfahrt äußerst wichtige Versuche am besten im Luftkanal durchführen lassen. Er hat daher für aerodynamische Untersuchungen zwei ähnliche Anstalten wie die weltbekannte Göttinger eingerichtet, die von Prandtl geleitet wird. Seine umfangreichen Luftversuche hat Eiffel in den prachtvoll ausgestatteten Werken: La résistance de l'air et l'aviation, Paris 1911 und 1914, und Recherches expérimentales sur la résistance de l'air 1907, veröffentlicht. Das letzgenannte Werk ist besonders für den Brückenbauer von Wert, der hierin Grundlagen für die Berechnung des Winddruckes findet. Auch auf dem Gebiete des Brückenbaues ist Eiffel ein Pionier gewesen, indem er die Luftdruckgründung und den Bau von Brücken ohne Gerüst als einer der ersten durchgeführt hat. Eine große Anzahl von damals neuartigen Hoch- und Bogenbrücken sind in verschiedenen Ländern von Eiffels Eisenbauanstalt ausgeführt worden, die später in eine noch heute bestehende Aktiengesellschaft umgewandelt worden ist. Eine Beschreibung der hauptsächlichsten Arbeiten findet man in dem ebenfalls prachtvoll ausgestatteten Werk: Travaux Scientifiques, Paris 1900, worin auch auf Eiffels Beteiligung am französischen Panamaprojekt und die daran anschließenden französischen Gerichtsverhandlungen eingegangen wird. Französische Gerichtsverhandlungen sind eine eigenartige Sache, über die man am besten hinweggeht.

Alles in allem war Eiffel ein kühner Pionier auf vielen Gebieten des Ingenieurwesens und auf den angrenzenden Gebieten der Physik und Meteorologie. [M 49] Dr. W. Schmidt.

Quecksilberdampf-Glasgleichrichter für elektrische Bahnen und rauhe Betriebe.

Ober-Ing. Gustav W. Müller zeigt in einer ausführlichen Abhandlung[1]), daß sich die Glas-Gleichrichter als Umformer für den stoßweisen Betrieb der elektrischen Bahnen sehr gut eignen[2]). Aus dem Inhalt der Abhandlung sei folgendes hier wiedergegeben: Die Gleichrichter können eine zwei- bis dreifache Überlastung aufnehmen, was auf die große Temperaturträgheit der Glaskörper zurückzuführen ist. Die höchste Temperatur ist zugleich die Grenze der Belastung; da das Glasgefäß aber erst nach 30 min gleichbleibender Belastung die Endtemperatur erreicht, können für kurze Zeitabschnitte bedeutende Überlastungen auftreten, ehe die Endtemperatur erreicht wird. Infolgedessen werden die Glaskörper und somit die Gleichrichter nicht für die höchsten Stromspitzen bemessen, sondern für einen mittleren Wert, der sich aus der Zeitdauer der Überlastungen ergibt.

Die Sechsphasen-Gleichrichter[3]) eignen sich am besten für den Bahnbetrieb, weil im Mittel der Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0{,}93$ ist und ferner Telephonstörungen ausgeschlossen sind, wenn dem Gleichrichter eine Drosselspule vorgeschaltet wird. Da sich die Luftverdünnung in den Glaskörpern während des Betriebes nicht ändert, ist eine Wartung nicht nötig. Die selbsttätige Zündung schaltet die Gleichrichter wieder ein, wenn der Speisestrom vorübergehend ausfällt. Es sind seit über einem Jahr mehrere Anlagen von 140 bis 320 kW zufriedenstellend in Betrieb. Der Wirkungsgrad dieser Anlagen beträgt rd. 90 vH trotz der auftretenden großen Stromschwankungen.

Die neuzeitigen Glas-Gleichrichter lassen sich überall dort vorteilhaft verwenden, wo man das Bedienungspersonal sparen will. Eine besondere Relaisanordnug für selbsttätiges Inbetriebsetzen ist nicht erforderlich, so daß eine Umformeranlage mit solchen Glas-Gleichrichtern als eine bedienungslose Umformerstelle anzusehen ist.

Diese Gleichrichter eignen sich außerdem noch für jeden stoßartigen Gleichstrombetrieb. Krananlagen, Seilbahnen, Grubenbahnen, Kohlenladestellen, die nur Wechsel- oder Drehstrom zur Verfügung haben, arbeiten bedeutend günstiger, wenn man auf Gleichstrom umformt. Dann können Gleichstrommotoren verwendet werden, die ein bedeutend stärkeres Anzugmoment ausüben als Wechsel- oder Drehstrommotoren. Da die Gleichrichter keine Betriebschwierigkeiten bieten, wie Kommutatorfeuer, Lagerüberwachung usw., so eignen sich Gleichrichter besser als umlaufende Maschinen für rohe Betriebe. Die vor die Glaskörper geschalteten Drosselspulen dämpfen neben ihrer ausgleichenden Wirkung auf die Spannungskurve die Stromstöße bedeutend ab, falls in der Gleichstromleitung durch rücksichtslose Bedienung der Motoren übermäßig hohe Ströme auftreten; ein ausgesprochener Kurzschluß kann deshalb nicht entstehen. [M 82]

[1]) AEG-Mitteilungen Bd. 19 Nov./Dez. (Nr. 11/12) 1923.
[2]) Vergl. a. Z. Bd. 67 (1923) S. 88.
[3]) Z. Bd. 64 (1920) S. 403.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Materialprüfung.

Wärmeleitvermögen feuerfester Steine bei hohen Temperaturen.

Mit Unterstützung der British Refractories Research Association hat A. T. Green[1]) im Clay and Pottery Laboratory in Stoke on Trent neuerdings Versuche an feuerfesten Steinen ausgeführt, die in Deutschland noch wenig bekannt geworden zu sein scheinen. Greens Verfahren ist ähnlich dem von Heyn, Bauer und Wetzel[2]) angegebenen. Bei diesem wurde ein rechteckiger, aus den zu untersuchenden Steinen zusammengesetzter Klotz von einer der Außenflächen aus heraufgeheizt und aus der Temperaturzunahme der beheizten Fläche und des Innern des Klotzes die Temperaturleitfähigkeit $a^2 = \frac{\lambda}{\gamma c}$ und daraus die Wärmeleitfähigkeit λ berechnet, wozu noch das Raumgewicht γ und die spezifische Wärme c des Steinmaterials bekannt sein mußten. Bei Greens Verfahren soll die beheizte Außenfläche während des ganzen Versuches die Temperatur ϑ_0 haben; die Temperatur wird dabei gezählt von der als Nullpunkt gewählten Anfangstemperatur des ganzen übrigen Klotzes. Eine im Innern des Klotzes im Abstand x von der beheizten Außenfläche gedachte Parallelebene zu dieser hat dann zur Zeit t nach Fouriers Theorie der linearen Ausbreitung der Wärme die Temperatur

$$\vartheta = \vartheta_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-y^2} \, dy\right) \quad \ldots \ldots \ldots (1),$$

wobei

$$y = \frac{x}{2a\sqrt{t}}$$

ist. Da das Integral der Gleichung (1) bekannt ist und seine Lösung in Tabellenform vorliegt[3]), läßt sich hiernach a^2 und somit auch λ aus der konstant zu haltenden Temperatur ϑ_0 und der zu messenden Temperatur ϑ zur Zeit t berechnen. Versuch und Rechnung sind sogar überaus einfach und bequem.

Green verwandte als elektrischen Heizwiderstand, ebenfalls ähnlich wie Heyn und sein Mitarbeiter, feines Graphitpulver, in das Eisenelektroden eingeführt waren. Parallel zu der zu beheizenden Kopffläche des Versuchsklotzes lag in geringem Abstand eine feuerfeste Platte; das Graphitpulver füllte den Zwischenraum zwischen ihr und der Kopffläche aus. Der Versuchsklotz bestand aus 9 Steinen (23 cm × 11,5 × 6,4 cm), die mit den langen Flächen in Richtung der Wasserströmung nebeneinander lagen und von andern feuerfesten Steinen umschlossen waren. Die Temperaturen ϑ_0 und ϑ wurden mit Thermoelementen gemessen; die zur Messung von ϑ bestimmten waren 4 bis 6½ cm von der Stirnfläche in den mittleren Versuchstein eingelassen.

Vor den Versuchen wurde die Kopffläche mehr als 12 h auf 1100 ° geheizt. Beim Versuch selbst wurde zunächst die Stirnfläche so schnell wie möglich auf die Temperatur ϑ_0 gebracht, wozu 0,7 bis 1,5 h erforderlich waren, und dann mit so geringem Strom weiter geheizt, daß die Temperatur ϑ_0 unverändert blieb. Die Ablesungen fanden erst nach etwa 9 h statt, zu welcher Zeit der Temperaturunterschied $\vartheta_0 - \vartheta$ bei $\vartheta_0 = 700$ ° noch etwa 200 bis 300 °, bei $\vartheta_0 = 1100$ ° noch etwa 250 bis 450 ° betrug. Dabei war an t für die Anheizzeit eine empirisch ermittelte Berichtigung von 0,3 h (für Anheizzeiten von weniger als 1 h) und von 0,4 h (für Anheizzeiten über 1 h) anzubringen mit Rücksicht darauf, daß die oben erwähnten Voraussetzungen für das Verfahren nicht streng erfüllt waren. Die noch übrig bleibende Ungenauigkeit soll in die Grenzen der Versuchsfehler fallen, weil zur Zeit der Ablesung die Temperatur ϑ nur noch um etwa 10 ° in einer Stunde stieg und anderseits auf der Kopffläche des Versuchssteins örtliche Unterschiede von 10 ° festgestellt wurden.

Green hat 11 verschiedene Steinsorten untersucht. Ein Auszug aus den Versuchsergebnissen ist in Zahlentafel 1 gegeben; die Originalabhandlung enthält außerdem Angaben über das Gefüge der Versuchskörper. Nach Greens Messungen wäre die Wärmeleitfähigkeit von Silika-, Chamotte- und Retortenmaterial auffallend niedrig, ihre Zunahme mit der Temperatur sehr groß gegenüber den Ergebnissen andrer Beobachter, die ich in dem Abschnitt „Wärmeleitung" der 5. Auflage von Landolt und Börnsteins „Physikalisch-Chemischen Tabellen" und in dem Kapitel „Die Wärmeübertragung durch keramische Stoffe" von F. Singers Werk „Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft" zusammengestellt habe. Die beiden Magnesitsteinsorten J und L sollen trotz fast gleicher Porosität und Analyse die Wärme ganz verschieden stark leiten; Green bemerkt hierzu, daß auch die Sorte J zunächst um 70 vH größere Werte ergeben habe und erst nach längerer Heizung die in Zahlentafel 1 mitgeteilten Werte, während Sorte L unverändert blieb. Die Mannigfaltigkeit der von mir mitgeteilten Liste der Werte für Magnesitsteine[4]) wird dadurch noch erhöht.

Auch die von Green gefundenen Werte dürfen, wie sämtliche bisher nach Verfahren mit nicht stationärer Wärmeströmung ermittelten, nicht kritiklos hingenommen werden. Gl. (1) enthält die bei der Versuchsanlage durchaus nicht erfüllten Voraussetzungen unendlicher Ausdehnung des Versuchsklotzes in der Strömrichtung der Wärme und völlig linearer Strömung in dieser Richtung. Der von mir in dieser Zeitschrift früher behandelte Einfluß des seitlichen Wärmeabflusses[5]) ist auch von Green übersehen worden. Er kann auch bei geringem radialem Temperaturgefälle groß sein, da er nicht von der Größe des Temperaturgefälles, sondern von seiner örtlichen Zunahme in radialer Richtung im Vergleich zu der Abnahme in axialer Richtung abhängt. Bei Berücksichtigung dieses Einflusses wären für λ und a^2 größere, wahrscheinlich viel größere Werte herausgekommen, als von Green angegeben.

Von den mir bekannten Verfahren für nicht stationäre Wärmeströmung bei hohen Temperaturen dürfte der eben erwähnte Einfluß wohl am geringsten sein bei dem zuerst von Honda und Sato[6]) angegebenen geistreichen Verfahren, das Tadokoro[7]) an mehr als 100 Gesteinarten und feuerfesten Stoffen zum Teil bis 1000 ° angewandt hat. Bei diesem Verfahren regelt man den Strom einer elektrischen Heizplatte durch ein Kurbelgetriebe derart, daß ihre Temperatur sich mit der Zeit nach dem Gesetz $\vartheta_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}$ verändert, wobei ϑ_0 die Höchsttemperatur, T die Dauer einer Regulierungsperiode bedeutet. Liegt die zu untersuchende Platte an der Heizplatte an, so erhält man aus den Amplituden ϑ_1, ϑ_2 oder den Phasen φ_1, φ_2 der entstehenden Temperaturwelle in den Tiefen x_1 und x_2 der Versuchsplatte die Temperaturleitfähigkeit nach der Formel

$$a^2 = \frac{\pi (x_1 - x_2)^2}{T \ln \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}\right)^2} = \frac{\pi (x_1 - x_2)^2}{T (\varphi_1 - \varphi_2)^2} \quad \ldots \ldots (2).$$

Tadokoro hat nun bei hohen Temperaturen die ganze Versuchsanordnung in einen elektrischen Röhrenofen eingebaut und hierdurch den radialen Wärmefluß in den Versuchskörpern, wenn auch nicht ganz beseitigt, so doch sehr verringert. Die wichtigsten von ihm ermittelten Werte habe ich in den oben erwähnten Sammelwerken bereits zusammengestellt.

[M 84] Max Jakob.

Zahlentafel 1. Wärmeleitfähigkeit λ und Temperaturleitfähigkeit a^2 feuerfester Steine.

Material	Bezeichnung	Spezifisches Gewicht		Chemische Zusammensetzung vH					λ [kcal $m^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Grad^{-1}$] bei				$10^3 \cdot a^2$ [$m^2 \cdot h^{-1}$] bei			
		scheinbar	wahres	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	500 °	700 °	900 °	1100 °	500 °	700 °	900 °	1100 °
Silikatstein	A	1,77	2,30	95,4	0,9	—	1,7	—	0,270	0,342	0,396	0,576	0,612	0,684	0,720	0,918
„	B	1,51	2,44	94,0	1,8	—	2,6	—	(0,288)	0,396	0,522	0,720	(0,792)	0,936	1,08	1,33
„	C	1,84	2,32	93,4	3,0	—	2,2	—	(0,252)	0,360	0,486	0,594	(0,558)	0,702	0,828	0,918
Chamottestein . .	D	2,03	2,46	68,4	26,1	2,5	—	—	0,360	0,468	0,594	0,900	0,720	0,828	0,936	1,22
„ . .	E	2,00	2,36	57,9	3,0	—	—	—	(0,288)	0,432	0,576	0,864	(0,612)	0.774	0,900	1,22
„ . .	F	1,92	2,55	67,5	27,1	—	—	—	0,360	0,432	0,540	0,756	0.756	0,792	0,882	1,12
Retortenmaterial . .	G	1,85	2,45	67,1	27,2	—	—	—	0,288	0,378	0,468	0,630	0,630	0,720	0,792	0,954
„ . .	H	1,88	2,62	65,7	28,5	—	—	—	0,342	0,450	0,576	0,756	0,738	0,864	0,954	1,12
„ . .	I	1,91	2,54	72,5	23,6	—	—	—	0,450	0,612	0,756	0,972	0.954	1,15	1,26	1,44
Magnesitstein . . .	J	2.63	3,29	—	—	1,9	5,2	81,8	0,630	0,612	0,594	0,576	0,828	0,720	0,630	0,576
„ . . .	L	2,56	3,38	—	—	2,6	4,7	87,9	1,14	1,01	0,972	0,900	1,37	1,19	1,04	0,882

[1]) A. T. Green, Transact. of the Ceramic Soc. Bd. 21 (1922) S. 394.

[2]) E. Heyn, O. Bauer und E. Wetzel, Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde 1914 S. 89; vergl. a. M. Jakob, Z. Bd. 63 (1919) S. 69, 118, 1042 bis 1047.

[3]) Z. B. in Zahlentafel Nr. 28 von H. Gröber, Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges. Berlin 1921, Julius Springer.

[4]) M. Jakob, Z. B. 67 (1923) S. 126.

[5]) M. Jakob, Z. Bd. 63 (1919) S. 1042.

[6]) K. Honda und S. Satô, Phys.-Math. Soc. Tokio (2) Bd. 8 (1915/1916) S. 424.

[7]) Yoshiaki Tadokoro, Scienc. rep. of the Tôhoku-University Bd. 10. (1921) S. 339.

Kraftmaschinen.

Neuer Versuch mit Dampfturbinendüsen[1]).

In seinem ersten Bericht[2]) hatte der 1914 eingesetzte Ausschuß die allgemeinen Richtlinien für die anzustellenden Versuche mitgeteilt und die Meßeinrichtungen eingehend erörtert; der zweite Bericht gibt nunmehr die bisherigen Versuchsergebnisse bekannt. Die Versuche bestanden darin, daß der Druck des aus einer Gruppe von Düsen austretenden Dampfstrahles gegen eine im Abstand von 63,5 mm senkrecht dazu angeordnete Platte gemessen wurde. Um die Verluste in den Düsen zu bestimmen, mußte man ermitteln: die austretende Dampfmenge, die mittlere wirkliche Dampfgeschwindigkeit c_m und die theoretische Dampfgeschwindigkeit c_0 im oder nahe am Austritt der Düsen. Die wirklichen Dampfgeschwindigkeiten ergaben sich durch Messung der Dampfmenge

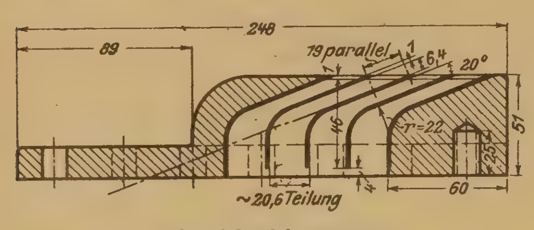


Abb. 1. Gleichdruckdüsengruppe. Düsen 51 mm hoch, Neigung 20°, Stege 1 mm stark.

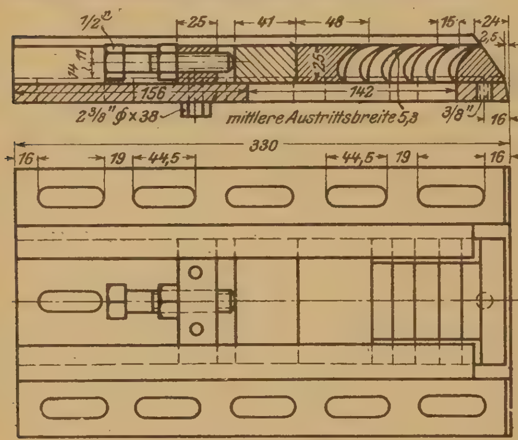


Abb. 2 und 3. Überdruckdüsengruppe. Parsons 480 B-Schaufeln, Neigung 20°.

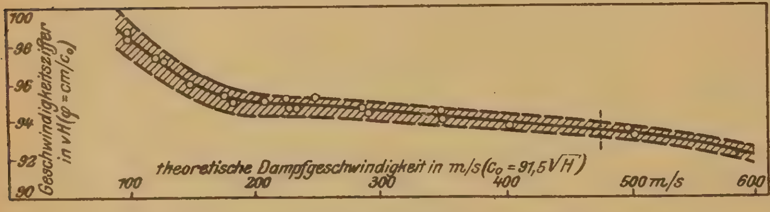


Abb. 5. Geschwindigkeitsziffern der Überdruckdüsen, Parsons 480 B, Neigung 20°.

und des durch den Dampfstrahl ausgeübten Druckes, die theoretische Dampfgeschwindigkeit wurde aus dem adiabatischen Wärmegefälle errechnet. Die Geschwindigkeitsziffer $\varphi = \frac{c_m}{c_0}$ ergibt dann den Düsenwirkungsgrad $\eta = \varphi^2$. Um Meßfehler zu vermeiden, mußte man eine Reihe von Vorversuchen durchführen. Es wurden zunächst etwa 50 Versuche mit Parsons-Düsen angestellt, und zwar bei gleichbleibendem Anfangsdruck und veränderlichem Gegendruck sowie bei gleichbleibendem Gegendruck von 1 at oder annähernd 1 at und bei veränderlichem Anfangsdruck. Die Hauptversuche wurden sämtlich mit gleichbleibendem Enddruck durchgeführt. Untersucht wurden Gleichdruckdüsen aus dünnem Blech (1 mm starke Stege) mit 20° Neigung, Abb. 1, und Parsons-Normaldüsen, Abb. 2 und 3.

Bei den ersten Versuchen mit den Gleichdruckdüsen war das Verhältnis des parallelen Teiles der Düsen zur Austrittbreite zunächst 3 : 1. Durch Kürzen am Austritt wurde dieses Verhältnis auf 2 : 1, dann auf 1 : 1 gebracht und zuletzt eine Versuchsreihe ohne parallele Führung durchgeführt. In Abb. 4 sind für diese vier verschiedenen Formen von Gleichdruckdüsen die Geschwindigkeitsziffern über der Dampfgeschwindigkeit in Kurven aufgetragen. Zwischen den Kurven 2 (paralleler Teil = doppelte Düsenbreite) und den Kurven 4 (ohne parallelen Teil) ist nur ein geringer Unterschied. Sind die parallelen Wände länger als die doppelte Kanalbreite, so sind dagegen die Verluste größer. Die möglichen Meßfehler sind durch die schraffierten Flächen angedeutet. Die wirkliche Ungenauigkeit dürfte bei niedriger Dampfgeschwindigkeit höchstens 1 vH, bei hoher Geschwindigkeit höchstens 0,4 vH betragen.

Die Geschwindigkeitsziffern der Parsons-Überdruckdüsen von 20° Neigung sind aus Abb. 5 ersichtlich. Die Werte für das kritische Druckgefälle sind in Abb. 4 und 5 durch kurze senkrechte Striche angedeutet.

Damit man die erhaltenen Meßergebnisse besser vergleichen kann, sind die Mittelwerte der Geschwindigkeitsziffern der Kurven 2, 3 und 4 in Abb. 4 und die zugehörigen Wirkungsgrade der Gleichdruckdüsen in Abb. 6 aufgetragen und die entsprechenden Werte für die Überdruckdüsen in Abb. 7 gegenübergestellt. Da die Druckplatte nicht unmittelbar an der Düsenöffnung angeordnet war, dürften die Wirkungsgrade in den Turbinen selbst etwas höher sein. Für die Parsons-Düsen dürften

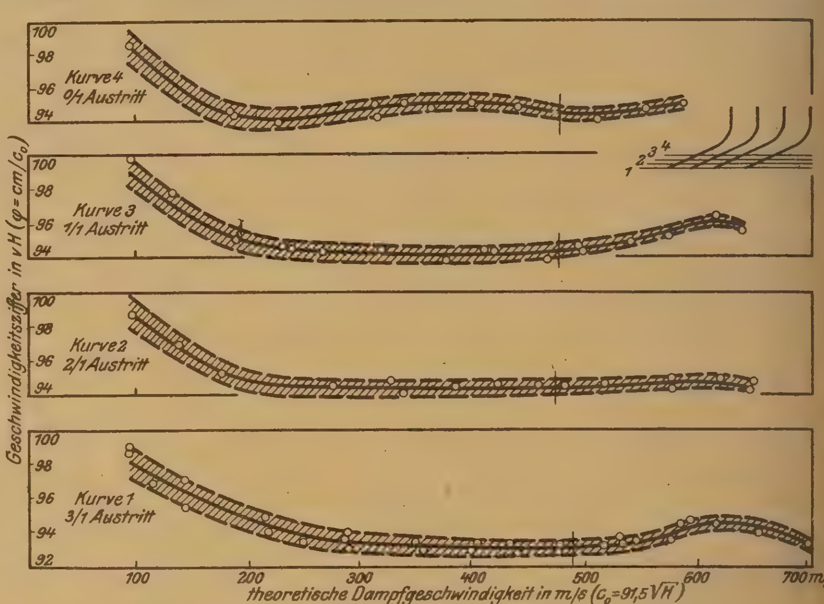


Abb. 4. Geschwindigkeitsziffern der Gleichdruckdüsen, Neigung 20°, Stege 1 mm stark.

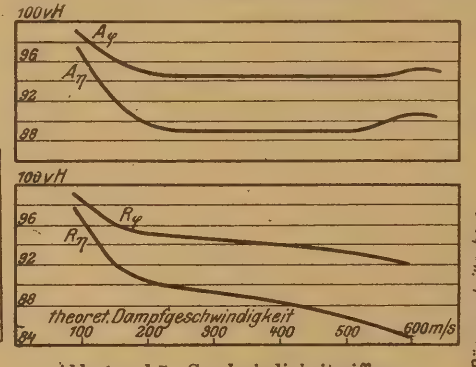


Abb. 6 und 7. Geschwindigkeitsziffern und Wirkungsgrade der Gleichdruckdüsen und der Überdruckdüsen.

Abb. 8. Strahlablenkung und Einfluß d. Stegstärke in Gleichdruckdüsen. Druckverhältnis 0,6, Austritt 3/1.

sich für den Arbeitsbereich der neuzeitlichen Überdruckturbinen folgende Wirkungsgrade ergeben: 98 vH bei 85 m/s, 92,1 vH bei 152 m/s, 90,2 vH bei 213 m/s Dampfgeschwindigkeit. Für den Arbeitsbereich von Gleichdruckdüsen, d. i. zwischen 300 und 400 m/s ist der Wirkungsgrad mit 89,1 vH unveränderlich. Hierbei ist die bisher allgemein übliche Ausführung der Düsen, ohne Versuch, den Dampfkanal irgendwie zu verbessern, vorausgesetzt.

Bei den Vorversuchen wurde auch der wirkliche Austrittwinkel des Dampfstrahles aus der Düse beobachtet. So zeigt z. B. Abb. 8 die mittlere Strahlablenkung und den Einfluß der Stärke des Düsenbleches hierauf für ein Druckverhältnis von 0,6. [R 9] Dr. E. A. Kraft.

[1]) Auszug aus dem 2. Bericht des Dampfdüsen-Untersuchungs-Ausschusses der Institution of Mechanical Engineers, London Engineering, Bd. 115, 23. März 1923.

[2]) vergl. ebenda S. 377.

Schiffs- und Seewesen.

Die neuesten englischen Flugzeugmutterschiffe.

Während früher ein Flottenleiter bei der heutigen Tragweite der Geschütze damit rechnen konnte, daß er sich im gegebenen Augenblick einer ungünstigen Lage bei ausreichender Geschwindigkeit seiner Schiffe durch künstlichen Rauch entziehen könnte oder daß durch das gleiche Mittel ein Angriff nahe an den Feind zu tragen wäre, ist durch die Entwicklung des Flugzeuges diese Möglichkeit sehr unwahrscheinlich

geworden; denn vor den Augen der Flieger sind solche Unternehmungen nicht angebracht. Die Flieger werden dahin wirken, daß dem Flottenführer lange vor Beginn der Schlacht die Stärke des Gegners und sein Stand bekannt sind; sie werden ferner das eigene Geschützfeuer während der Schlacht leiten und über den Erfolg der Salven berichten. Damit wird die Flottenstärke noch mehr als bisher für den Erfolg maßgebend. Das hat vor allem England erkannt, das seine Flugzeugmutterschiffe so leistungsfähig wie irgend möglich macht. Heute sind sechs solche Schiffe in England vorhanden, deren Berechnungswerte in Zahlentafel 1 zusammengestellt sind.

Zahlentafel 1. Die englischen Flugzeugmutterschiffe.

Schiff	Länge m	Verdrängung t	Maschinenleistung PS	Geschwindigkeit kn
Ark Royal	111,5	7 200	3 000	11
Pegasus	101	3 120	9 500	20¼
Argus	172	14 700	20 000	20
Hermes	182	11 150	40 000	26
Eagle	203	23 200	55 000	25
Furious (vor dem letzten Umbau)	240	19 400	90 000	31

„Ark Royal“ und „Pegasus“ sind ältere Schiffe, während die übrigen vier nach den neuesten Erfahrungen eingerichtet sind. Amerika und Japan besitzen demgegenüber je nur ein derartiges Schiff, „Langley“ und „Hosho“. „Argus“ war ursprünglich als Fahrgastdampfer für eine italienische Reederei entworfen und ist im Krieg in ein Flugzeugmutterschiff umgebaut worden[1]). Das Schiff hat ein vollkommen glattes Flugdeck. Die Schornsteine haben wie bei „Langley“ seitliche Öffnungen am Heck. Das Kartenhaus ist versenkbar eingerichtet. Mit einem Schiffsmodell sind eingehende Versuche im Windkanal gemacht worden, um die Luftströmungen und Wirbelbildungen festzustellen. Bei den übrigen Schiffen hat man das vollkommen freie Flugdeck aufgegeben und hat auf der Steuerbordseite eine sogenannte Insel mit Schornstein, Brücken und Mast sowie einen Raum für die Gefechtsleitung aufgebaut.

Von vornherein als Flugzeugmutterschiff entworfen wurde „Hermes“, dessen größte Breite in der Schwimmlinie 21,3 m beträgt, während das Flugdeck 27,5 m breit ausgeführt ist. Dadurch fallen die Spanten sehr weit aus. „Hermes“ wurde Anfang 1918 auf Stapel gelegt und lief im Herbst 1919 ab. Das Schiff hat sechs 14 cm- und einige Flugzeugabwehrgeschütze erhalten. Die übrigen beiden Schiffe „Eagle“ und „Furious“ sind durch Umbau zu Flugzeugmutterschiffen geworden. Einzelheiten über ihren Ausbau sind nicht bekanntgegeben worden. Die Gesichtspunkte aber, die für den Bau eines Flugzeugmutterschiffes leitend sind, haben Tennyson d'Eyncourt und Narbeth in der Institution of Naval Architects erläutert; es sind vor allem eine gute Abflug- und Landemöglichkeit und eine geräumige Flugzeughalle, die mit Rücksicht auf die bis zum Hauptdeck reichenden wasserdichten Schotte über diesem unterzubringen ist, da sie nicht unterteilt werden kann. („Engineering“ vom 2. November 1923) [M 45]

Das Kranschiff Nr. 1 der amerikanischen Kriegsflotte.

In Z. Bd. 67 (1923) S. 1064 habe ich über den Umbau des alten amerikanischen Linienschiffes „Kearsarge“ in ein Kranschiff berichtet und dabei einen Schwimmkran der Demag von gleicher Tragfähigkeit zum Vergleich herangezogen. Daraufhin hat mich Herr Oberingenieur F. Heym, Duisburg, darauf hingewiesen, daß auch das amerikanische Kranschiff Nr. 1 auf einen deutschen Entwurf zurückgeht. Der damalige Direktor Bode der Benrather Maschinenfabrik hatte vor 15 Jahren Herrn Heym beauftragt, einen hochseetüchtigen Schwimmkran zu entwerfen, der fähig sein sollte, der Flotte auf die Auslandstationen zu folgen, um dort und unter Umständen auch auf hoher See Auswechselarbeiten an Geschützen, Maschinen oder Kesseln und Bergungen vornehmen zu können. Ein gewöhnlicher Kranponton ist bei seiner geringen Freibordhöhe bekanntlich hierzu nicht seetüchtig genug.

Das Flottenkommando, dem der Entwurf von Bode im Jahre 1910 vorgelegt wurde, beurteilte ihn günstig und beantragte den Bau solch eines Kranschiffes beim Reichs-Marineamt. Der Antrag wurde jedoch aus Geldmangel nicht ausgeführt. Es wurden dann von Bode Verhandlungen mit dem Marinedepartement in Washington geführt, die nicht zu einem Abschluß gekommen sind. Dem amerikanischen Marinedepartement wurden dabei alle Zeichnungen und Berechnungen des in Amerika patentierten Kranschiffes vorgelegt, auf die das Amt anscheinend beim Bau seines jetzigen Kranschiffes zum größten Teil wieder zurückgegriffen hat.

Der Bodesche Entwurf sah ein Schiff von 100 m Länge, 18 m Breite und 6 m Tiefgang vor, das den Einbau eines Kranes von 100 t Tragfähigkeit bei 25 m Ausladung von Drehmitte zuläßt. Es wurden verschiedene Kranformen und Lagerungen untersucht, wobei der Kranschwerpunkt immer möglichst tief im Schiff liegen sollte. Beanspruchungen der Decks und der Außenhaut wurden vermieden. Alle Last sollte auf den verstärkten Doppelboden wirken. Diese günstige Gewichtverteilung konnte beim amerikanischen Kranschiff nicht erreicht werden, da hierbei ein altes Linienschiff für das Kranschiff verwendet wurde. Dieses wurde von 22 auf 28 m verbreitert, wodurch eine Tragfähigkeit des Kranes von 250 t erreicht wurde.

Auch die Lagerung des Auslegers auf einem Bock, die Verwendung von Einziehspindeln mit Rechts- und Linksgewinde und andre Einzelheiten der Ausführung gehen auf deutsche Anregungen zurück. Der Bodesche Entwurf war gleichzeitig als Werkstatt- und U-Boot-Mutterschiff gedacht. Diese Verwendung lag mit Rücksicht auf die damalige geringe Größe der U-Boote und ihren geringen Fahrtbereich nahe.

[M 47] Dr. W. Schmidt.

[1]) „Engineering“ vom 28. März und 4. April 1919.

Erd- und Wasserbau.

Ein Damm über die Meeresstraße bei Singapore.

Zwischen dem Festland von Johor und der Insel Singapore ist seit einigen Jahren eine bemerkenswerte Dammstraße in Bau, die, wie wir der Zeitschrift „The Engineer“ vom 16. November 1923 entnehmen, so weit fertiggestellt ist, daß seit Mitte September 1923 Güterzüge und am 1. Oktober der erste Personenzug befördert werden konnte.

Die Gesamtlänge des Dammes beträgt rd. 1,05 km; nach seiner Vollendung wird er an der Krone 18,3 m breit sein, so daß neben zwei Gleisen noch Platz für einen rd. 8 m breiten Fahrweg sein wird. Der Bau des Dammes wurde dadurch notwendig, daß die seit 1909 in Betrieb befindliche Eisenbahnfähre zwischen Johor Bahru und Woodlands, die auf einmal nur sechs Güterwagen befördern konnte, den steigenden Anforderungen des Verkehrs nicht mehr gewachsen war. Zum Personenverkehr wurden ohnehin schon kleine Fährdampfer benutzt. Im Jahre 1921 hatte sich der Güterverkehr auf 58 402 Wagen vermehrt, so daß er nur durch ununterbrochenen Tag- und Nachtbetrieb bewältigt werden konnte. Eine Brücke konnte vor allem deshalb nicht erbaut werden, weil die große Wassertiefe von zeitweilig 21,35 m sehr große Materialkosten verursacht haben würde. Auch die Unterhaltkosten wären bedeutend höher gewesen.

Der Damm besteht aus einer Schüttung von Bruchsteinen, die man aus zwei Steinbrüchen auf der Insel von Singapore und einer andern kleinen Insel gewann.

Für die Unterschüttung ist Granitbruch ganz verschiedener Größe, darunter Blöcke bis zu 5 t Gewicht, verwendet. Auf beiden Dammseiten wurde von 4,5 m unter Ebbewasserstand an aufwärts eine 3 m dicke Bekleidung aus Blöcken von 5 bis ½ t Gewicht bei 2 : 1 Neigung aufgeschüttet. Diese Aufschüttung reicht 1,2 m über den Niedrigwasserstand. Oben schließt sich eine Berme zum Schutze gegen Wellenschlag an; sie wird von Betonblöcken begrenzt, deren Material im Verhältnis 6 : 1 gemischt ist, und über denen eine weitere Granitschüttung mit 3 : 2 Böschungswinkel folgt.

Das Steinmaterial wurde in 300 t-Prähmen mit Bodenklappen durch Schlepper herangebracht; die Prähme mußten, insbesondere später, als die Wasserstraße schon verengt war, wegen des Stromes an der Schüttstelle fest verankert werden. Man begann den Abwurf an beiden Enden des Dammes gleichzeitig. Die Höchstmenge an aufgeschütteten Steinen in einem Monat betrug rd. 42 000 m³. Sobald der Damm aus dem Wasser hervorragte, wurden die weiteren Arbeiten mit Schwimmkranen, später mit Derrickkranen fortgeführt, die auf der Schüttung aufgestellt waren.

Zur Schaffung eines Schiffahrtweges durch die abgedämmte Meeresstraße wurde an dem Dammende bei Johor eine Schleuse gebaut. Da die Westseite der Meeresstraße sehr flach und nur für kleine Schiffe zu befahren ist, hat die Schleuse keine besonders großen Ausmaße. Sie ist rd. 52 m lang, an den Toren 9,8 m und in der Mitte 13,7 m breit, so daß mehrere Schiffe zu gleicher Zeit geschleust werden können. Die Tiefe über den Drempeln beträgt rd. 3 m. Die eisernen Stemmtore von 7,3 m Höhe, 6,1 m Breite und 1,06 m Dicke werden durch Handwinden bewegt. Zum Füllen und Entleeren der Schleusenkammer dienen Umlaufkanäle. Die Schleuse ist seit Januar 1923 in Betrieb.

Zur Überbrückung der Schleuse dient eine Rollklappbrücke, deren beweglicher Teil 570 t wiegt. Sie wird durch einen 35 PS-Motor mit Zahnradübersetzung bewegt, dem als Aushilfe ein mechanischer Handantrieb beigefügt ist. Die Zeit zum Heben der Brücke wurde bei starkem Wind mit 3½ min für Motorantrieb gegen 19 min für Handantrieb ermittelt. Die Brücke hat 9,76 m Öffnung, die drei vollwandigen Hauptträger sind je 11,59 m lang und 1,52 m hoch, die Querträger sind in je 2,1 m Abstand angeordnet. Die Kreissegmentträger von 4,5 m Krümmungshalbmesser rollen auf 6 m langen Zahnstangen und tragen die Kasten für das aus Beton und Roheisenknüppeln bestehende Gegengewicht.

Um möglichst schnell eine Eisenbahnverbindung zwischen Singapore und dem Festland zu schaffen, stellte man zuerst den Straßenweg her, auf dem man einen eingleisigen Notstrang bis zur endgültigen Fertigstellung des eigentlichen Eisenbahnweges anlegte. Die Gesamtkosten der Anlage werden auf 1 955 000 £, also etwa 39 Mill. Goldmark, geschätzt. Sie werden gemeinsam von den Regierungen der Vereinigten Malayischen Staaten und der Straits Settlements und dem Schutzstaat von Johor getragen. [M 41] Sd.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

A Century of Locomotive Building by Robert Stephenson & Co. 1823—1923, by J. G. H. Warren. Akenside Hill, Newcastle upon Tyne 1923, Andrew Reid & Company Lim. Preis 28 sh. netto.

Vor 120 Jahren ließ Trevithick die erste Lokomotive auf eisernen Schienen laufen. Dann folgten 20 Jahre Arbeit verschiedener Ingenieure, um nachzuweisen, daß man den Dampf als Betriebskraft auf Grubenbahnen benutzen könne. Georg Stephenson, der Sohn eines einfachen Grubenarbeiters, der es schon in jungen Jahren zum Maschinenmeister eines Grubenbezirkes gebracht hatte, war der erfolgreichste dieser Eisenbahnpioniere. Er hat von 1814 bis 1825 55 Maschinen, davon 16 Lokomotiven — die erste 1814 — gebaut. Er hielt im festen Glauben an die große Zukunft der Eisenbahn, an die damals noch wenige glauben wollten, 1823 die Zeit für gekommen, die erste Lokomotivfabrik der Welt zu begründen. Sein 20jähriger genialer Sohn Robert Stephenson wurde von dem Vater und den anderen Teilhabern Edward Pease und Michael Longridge zum Hauptträger und Leiter des neuen Unternehmens ernannt, und so erhielt diese älteste Lokomotivfabrik den Namen: Robert Stephenson & Co. Den 23. Juni 1823 sieht die Firma als ihren Geburtstag an. Über ein Jahrhundert Erfahrung im Lokomotivbau kann diese Firma heute berichten. — Zur Erinnerung schenkte sie der technischen Welt das vorliegende große Werk, das, verfaßt von ihrem leitenden Konstrukteur, einer der wertvollsten Beiträge zur Geschichte der Lokomotive ist. Von dem wissenschaftlichen Geist nach Erforschung der Wahrheit getragen, wird das Werk den strengen Anforderungen an ernsthafte Geschichtschreibung gerecht. Neben dem wichtigen Material der Firma werden auch andere wertvolle und noch wenig oder gar nicht beachtete Quellen erschlossen. So wird das auch im umfangreichen Bildwerk, in Druck und Papier ausgezeichnet ausgestattete Buch zu einem Quellenwerk zur Geschichte der Lokomotive, das zu lesen jedem Freund der Geschichte der Technik großen Genuß bereiten wird.

Der Verfasser leitet sein Werk durch kurze biographische Skizzen über beide Stephensons ein und gliedert sodann seine Darstellung in 30 Kapitel. Von den 461 Seiten des Buches sind allein 405 Seiten der historischen Entwicklung bis zum Tod Robert Stephensons 1859 gewidmet. In starker Zurückhaltung gegenüber dieser geschichtlich großen Zeit des ersten halben Jahrhunderts hat der Verfasser auf kaum 20 Seiten nur eine kurze Übersicht über die weitere Entwicklung der Firma von 1859 bis 1923 gegeben, der noch einige Seiten folgen, auf denen kurz über neueste Lokomotiven der Firma berichtet wird, um so den ununterbrochenen Zug der historischen Entwicklung innerhalb einer Firma zu zeigen. Was die Firma heute baut, und mit ihr die vielen hundert Dampflokomotivfabriken der ganzen Welt, sind in ihren Grundzügen Stephensonsche Lokomotiven, wie sie im Laufe von wenigen Jahrzehnten durch hartes Ringen mit außerordentlichen Schwierigkeiten durch die beiden Stephensons und ihre Mitarbeiter entstanden sind.

Die ersten Lokomotiven der neuen Firma wurden für die in der Geschichte des Eisenbahnwesens so bedeutungsvolle Stockton-Darlington-Bahn gebaut. Es waren noch stehende, oben im Kessel eingebaute Zylinder, die mit ihrem vielgliedrigen Gestängewerk über dem Kessel uns so unwirklich erscheinen. Der nächste große Schritt führt zur Liverpool-Manchester-Bahn zum Lokomotivwettkampf zu Rainhill im Oktober 1829 und zum entscheidenden Sieg der Rocket. Im folgenden Jahr schon entwickelt die Firma aus der ursprünglichen Rocketform den „Planet", dem bald die dreiachsige Stephensonsche Patentlokomotive folgte; damit war für Jahrzehnte die Grundform der Lokomotive geschaffen, die von England nach aller Herren Länder ging und den Lokomotivbau der ganzen Welt maßgebend beeinflußt hat. Man mochte von seiten der Gegner, an denen es erfolgreichen, großen Männern nie gefehlt, noch so sehr sich ereifern über das Monopol der Stephensons, die keine anderen neuen Ideen aufkommen ließen; man fand keine anderen konstruktiven Gedanken, die sich praktisch brauchbar durchzusetzen vermochten. Wieviel Mühseligkeiten aber waren beim Entwurf, beim Bau und nicht zuletzt beim Betrieb dieser ersten Lokomotiven zu überwinden, welche Unsummen von Einzelarbeit hatten die Ingenieure und Arbeiter bei der Entwicklung des Kessels, der Maschine, des Triebwerks und der Steuerung zu leisten! Das an Hand dieses Buches zu schildern, hieße selbst wieder eine umfangreiche Abhandlung schreiben, wozu hier der Platz nicht ist, so reizvoll an sich die Aufgabe auch wäre. Die Benutzung des Werkes wird durch ein sorgfältig aufgestelltes, allein 19 Seiten umfassendes Inhaltsverzeichnis sehr erleichtert.

Wenn das letzte Jahr dieses Jahrzehnts der Welt das 100jährige Jubiläum des entscheidenden Sieges der Lokomotiveisenbahn bringt, wird man bei den geschichtlichen Betrachtungen, zu denen solche Feier mit Recht anregt, dem Verfasser und den Herausgebern des vorliegenden Buches erneut dankbar sein für das wichtige Werk über die Geschichte der Lokomotive. [B 70] C. Matschoß.

Handbuch der Ziegeleitechnik. Moderne Hilfsmittel und Einrichtungen zur Herstellung der Ziegelsteine 2. Aufl. Von Ing. R. Weber. Berlin 1923, Hermann Meußer.

Das Buch behandelt die ganze Ziegeleitechnik, von den Urstoffen der Tone bis zu den fertigen Ziegeln in logischer Reihenfolge. Sehr gut und ausführlich sind die Trockenanlagen und die Brennöfen beschrieben und durch zahlreiche Abbildungen erläutert. Auch von den Aufbereitmaschinen gibt der Verfasser deutlich an, wie und wo sie zu verwenden sind, im übrigen beschränkt er sich zu sehr auf das katalogmäßige, er lobt oder tadelt die verschiedenen Maschinen in ihren Einzelheiten ebenso im allgemeinen, ohne jedoch näher darauf einzugehen, wie sie eigentlich beschaffen sein sollten. Es mutet auch nicht gerade angenehm und unvoreingenommen an, wenn einige Maschinenfabriken zu oft genannt und empfohlen werden.

Der Wasserversorgung, den Betriebsmaschinen und sonstigen kleineren Hilfsmaschinen ist ein etwas zu großer Platz eingeräumt worden, während die jetzt üblichen Arbeitspläne (Diagramme), woraus die beste Übersicht inbezug auf Arbeitswege, Leistungen der einzelnen Maschinen und der gesamten Anlagen zu gewinnen ist, gänzlich fehlen. Das Buch bietet dem Anfänger im allgemeinen gute Übersicht, den gereiften Fachmann dagegen dürfte es nicht voll befriedigen. [B 856] Fr. K.

Die Spur des Dschingis Khan. Von Hans Dominik. Leipzig 1923, Ernst Keils Nachf. (August Scherl) G. m. b. H. 313 S.

Probleme, die zeitweise das allgemeine Interesse herausforderten, bilden Stoff und Handlung dieses neuen Romans des nicht mehr unbekannten Verfassers technischer Zukunftserzählungen. Es steht der Rassenkampf um die Vormachtstellung auf der Erde zur Erörterung, der in der Phantasie des Verfassers durch die Fortschritte der Technik zugunsten der weißen Rasse seine Lösung findet. Die große Erfindung, den Zerfall der Materie nach Belieben herbeizuführen und die ungeheuren Atomenergiemengen sich nutzbar zu machen, setzt die Europäer in den Stand, für ihre überzählige Bevölkerung Siedlungsland in den bis dahin unfruchtbaren Steppen Mittelasiens zu schaffen. Die gelungene Umkehrung des Prozesses durch eine weitere Erfindung des Hauptträgers der Handlung führt in seiner rücksichtslosen Anwendung bei dem Zusammenstoß westlicher und östlicher Interessen zu dem vollen Siege der ersteren.

Das fesselnd geschriebene Büchlein ist wohl geeignet, eine Mußestunde zu vertreiben, um längst versunkene Kindheitsträume für kurze Zeit wieder erstehen zu lassen.

Rußland und der Friede. Von Fridtjof Nansen. Leipzig 1923, F. A. Brockhaus. 188 S. mit 34 Abb. Pr. Gz. 5.

Die Wandlungen, die Rußland in den letzten Jahren namentlich in wirtschaftlicher Hinsicht erfahren hat, der Stand des Transportwesens, des Handels, der Landwirtschaft, der Industrie, des öffentlichen Unterrichts usw. in Rußland zur heutigen Zeit; alle diese Fragen, gesehen mit den Augen eines unvoreingenommenen Intellektuellen, wie es der Verfasser ist, werden den Leser vielleicht interessieren. Als Beilagen sind gute Bilder führender Persönlichkeiten der russischen Regierung der Jetztzeit eingefügt.

Werkstattbau. Anordnung, Gestaltung und Einrichtung von Werkanlagen nach Maßgabe der Betriebserfordernisse. Von Dr.-Ing. C. Th. Buff. 2. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 227 S. mit 219 Abb. und 1 Tafel. Preis Gm. 13.

Handbuch für Metallarbeiter. 43. Jg. des „Illustrierten Jahrbuches für Schlosser und Schmiede, Maschinenbauer und Monteure. Begründet von U. R. Maerz, bearbeitet von F. Wilcke. Leipzig 1924, H. A. Ludwig Degener. Preis geb. Gz. 2,50.

Monographien aus dem Gebiete der Fett-Chemie. Bd. 4: Die Fabrikation der Margarine. Von Direktor P. Pollatschek. (Bd. 5: Das Erdöl. Von D. Richard Kißling. Stuttgart 1923, Wissenschaftliche Verlagsges. m. b. H. Preis Gm. 1,80, geb. 2,20.

Lehrbuch der chemischen Technologie u. Metallurgie. Herausgegeben von Dr. B. Neumann. 2. Aufl. Leipzig 1923, S. Hirzel. 1015 S. mit 454 Abb. und 7 Tafeln. Preis Gz. 14, geb. 20.

Handbuch der angewandten Chemie, Bd. 13: Elektrochemie nichtwässeriger Lösungen. Von Paul Walden. Leipzig 1924, Johann Ambrosius Barth. 515 S. mit 3 Abb. Preis Gm. 24, geb. 28.

Tagblatt-Bibliothek Nr. 23/24: **Wie alle Menschen fliegen werden.** Von Dr. R. Nimführ. Wien 1923, Verlag Steyrermühl. 200 Seiten.

Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen. Herausgegeb. von Dr. L. Prandtl. München u. Berlin 1923, R. Oldenbourg. 1. Liefg. 2. Aufl. 140 S. mit 91 Abb. und 2 Taf. Preis Gm. 7. 2. Liefg. 80 S. mit 101 Abb. Preis Gm. 6.

In der Luft unbesiegt. Erlebnisse im Weltkrieg, erzählt von Luftkämpfern. Herausgegeben von G. P. Neumann. München 1923, I. F. Lehmann. 316 S. mit 6 Abb. Preis Gm. 5.

Der Äther und die Relativitätstheorie. Von Dr. L. Graetz. Stuttgart 1923, J. Engelhorns Nachfg. 80 S. mit 19 Abb.

Sammlung mathematisch-physikalischer Lehrbücher 21: **Graphische Hydraulik.** Von Dr. techn. A. Schocklitsch. Leipzig-Berlin 1923, B. G. Teubner. 70 S. mit 45 Abb. und 2 Tafeln. Preis Gz. 2,60.

Das Weltreich der Technik. 1. Bd. Von A. Fürst. Berlin 1923, Ullstein & Co., A.-G. 322 Seiten.

Ingenieur und Arbeiter. Von Reg.-Rat R. Woldt. Leipzig 1923, Quelle & Meyer. 46 S. Preis geh. Gz. 0,50.

Marconis Welthandels-Register u. Kabeladressen-Verzeichnis. Für Im- und Export. 1134 Seiten. Berlin 1923, Reimar Hobbing.

Finanz und Preispolitik bei sinkendem Geldwert. Von Prof. Fr. Leitner. Frankfurt a. M. 1923, J. D. Sauerländer. 25 S. Preis geh. Gz. 0,50.

Sammlung Göschen: Englisch für Techniker, II. Teil: **Elektrotechnik.** Von Dipl.-Ing. C. Volk. 115 Seiten. Berlin und Leipzig 1923, Walter de Gruyter & Co.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 9 SONNABEND, 1. MÄRZ 1924 BD. 68

INHALT

Erfahrungen und Forderungen des praktischen Kesselbetriebes.

Vorgetragen auf der Hochdrucktagung des Vereines deutscher Ingenieure in Berlin am 19. Januar 1924

Von Dr.-Ing. M. Guilleaume, Merseburg.

Erfahrungen auf dem Gebiete der Kesselblechprüfung. — Die Einflüsse der Herstellung der Kessel. — Materialbeanspruchungen durch Temperaturänderungen während des Betriebes. — Beobachtungen über den Wasserumlauf.

Vom Standpunkt der Betriebsicherheit der Dampfkessel ist es ein Fortschritt, daß die Betriebsingenieure der größeren Dampfkesselanlagen in steigendem Maß ihre Aufmerksamkeit außer auf die Fragen der Wärmewirtschaft auch auf die Herstellung der Dampfkessel und auf ihre Behandlung im Betriebe richten. Hierbei haben sie in den letzten Jahren Erfahrungen gemacht, die dem Konstrukteur nützliche Winke für Verbesserungen geben. Auch beim Bau und Betrieb von Hochdruckkesseln müssen diese Erfahrungen verwertet werden, damit Bedenken zerstreut werden, die gegen die Betriebsicherheit der Hochdruckkessel bestehen.

Es dürfte in weiteren Kreisen kaum bekannt geworden sein, daß sich Anfang 1920 eine größere Anzahl von Kesselbetrieben zur „Vereinigung der Großkesselbesitzer" zusammengeschlossen hat, um die Blechherstellung, die Konstruktion der Kessel und ihre Bearbeitung in der Werkstatt sowie das Verhalten der Kessel im Betriebe gemeinsam zu studieren. Mitglieder dieser Vereinigung sind die Dampfbetriebe der chemischen Großindustrie, unsere größten Elektrizitätswerke, ferner bedeutende Unternehmungen der Braunkohlenindustrie und eine Anzahl deutscher Dampfkessel-Revisionsvereine. Die Mitgliedschaft, anfänglich nur auf Werke von mindestens 16 000 m² Heizfläche beschränkt, ist seit einiger Zeit allen Kesselbetrieben über 1000 m² Heizfläche möglich. Zur Mitarbeit haben sich ferner die Eisenhüttenleute und Kesselkonstrukteure sowie bekannte Männer der Wissenschaft zur Verfügung gestellt. Die Vereinigung ist sonach eine Studiengemeinschaft zur Förderung des Dampfkesselwesens. Das gemeinsame Interesse an einer möglichst hohen Betriebsicherheit der Dampfkessel sichert trotz verschiedener wirtschaftlicher Interessen der beteiligten Industriegruppen eine fruchtbare gemeinsame Arbeit.

Die Forschungsarbeiten, über deren Ergebnisse hier berichtet wird, sind zum großen Teil im Auftrage der Vereinigung von den Materialprüfungsämtern der Technischen Hochschulen ausgeführt worden; in hervorragendem Maße ist dabei die Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule in Stuttgart beteiligt, die allein zwölf Gutachten größeren Umfanges erstattet hat. Dazu kommen zahlreiche Untersuchungen und Berichte einzelner Mitglieder, denen teilweise eigene Materialprüfungsanstalten und sachverständige Fachingenieure zur Verfügung standen. Das außerordentlich reichhaltige Untersuchungsmaterial stellt also die daraus gewonnenen Erfahrungen auf eine sichere Grundlage.

Erfahrungen auf dem Gebiete der Kesselblechprüfung.

Ich setze die behördlichen Bestimmungen als bekannt voraus. Der Konstrukteur berücksichtigt bei der Berechnung der Blechstärke nur die Zugfestigkeit des Bleches. Wir nahmen Veranlassung, folgendes zu untersuchen:

1) Gewährleistet die Erfüllung der behördlichen Prüfungsvorschriften dem Konstrukteur, daß in allen Teilen des Bleches auch die bei der Prüfung festgestellten Eigenschaften vorhanden sind?
2) Erfaßt die behördlich vorgeschriebene Probe die wichtigsten Blecheigenschaften?

Diese Fragen verneinten sowohl Sachverständige als auch zahlreiche Untersuchungsergebnisse. Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart untersuchte in unserem Auftrage eine größere Anzahl Bleche nicht nur nach den behördlichen Bestimmungen, sondern auch noch mit Hilfe der Kerbschlagprobe. Es zeigte sich mehrfach, daß Bleche zwar den behördlichen Bestimmungen bezüglich Festigkeit und Dehnung genügten, aber trotzdem außerordentlich spröde waren. Diese Sprödigkeit verschwindet bei sachgemäßem Ausglühen.

Für einige sehr große Kesselaufträge wurde die Herstellung von etwa 1500 Blechen erforderlich. Es bestand volles Einverständnis darüber, daß ein so großer Auftrag eine nie wiederkehrende Gelegenheit zur Beantwortung der obigen Fragen sei. In mehreren Beratungen mit der Technischen Kommission der Blechwalzwerke und dem Werkstoffausschuß des Vereins deutscher Eisenhüttenleute wurden die Richtlinien für eine sehr eingehende Prüfung, die als gemeinsame Studienarbeit aufgefaßt wurde, festgelegt. Sie wurde „Studienprobe" genannt.

Die Prüfung nach den Bedingungen der Studienprobe unterscheidet sich von den gesetzlichen Bestimmungen im wesentlichen durch folgendes:

1) Bei der Zerreißprobe statt zweier Probestäbe mit beliebiger Lage jetzt 4 Probestäbe, und zwar je eine Längs- und Querprobe am Kopf- und am Fußende des Bleches,
2) Hinzufügung der Kerbschlagprobe längs und quer am Kopf und Fuß,
3) die Glühbehandlung der Probe muß gleichzeitig mit dem Blech erfolgen. Kaltbearbeitung der Proben,
4) besondere Abmessungen der Stäbe,
5) Ausführung der Prüfung durch einen vom Lieferanten unabhängigen Sachverständigen.

Die Kosten der Studienarbeit bedingten einen Preisaufschlag von 20 bis 25 vH auf die Bleche, den die Vereinigung im Interesse der Forschung aufgewendet hat.

Die nach der Studienprobe untersuchten Bleche wurden von zwei Walzwerken hergestellt, die im folgenden mit I und II bezeichnet werden. Es wurde auf größte Genauigkeit bei der Durchführung der Proben geachtet. Der Ausfall an Blechen war mit 7,7 vH zwar nicht übermäßig. Da aber die Bleche mit besonderer Sorgfalt hergestellt waren, so beweist er doch, wie notwendig die Durchführung der Proben gewesen ist.

Die Studienprobe ermöglichte ein Urteil über den Wert der einzelnen Prüfungen. Man erkennt diesen Wert an der Menge des durch sie verursachten Ausfalles. Die Feststellung der Dehnung ergab sich als wichtigste Probe. Die Festigkeitswerte allein haben nur sehr wenige Ausfälle ergeben. Die Querproben sind an Bedeutung den Längsproben überlegen. Die Längsproben können fortfallen.

Der Scherenschnitt, mit dem man bei den amtlichen Proben die Probestäbe abzutrennen pflegt, ruft eine tiefgehende, unregelmäßige Veränderung der Eigenschaften des Materials hervor, die auch durch Ausglühen nicht vollkommen beseitigt werden kann.

Abb. 1.

Abb. 2.

Abb. 1 bis 3. Verteilung der Festigkeit im Rohblech.

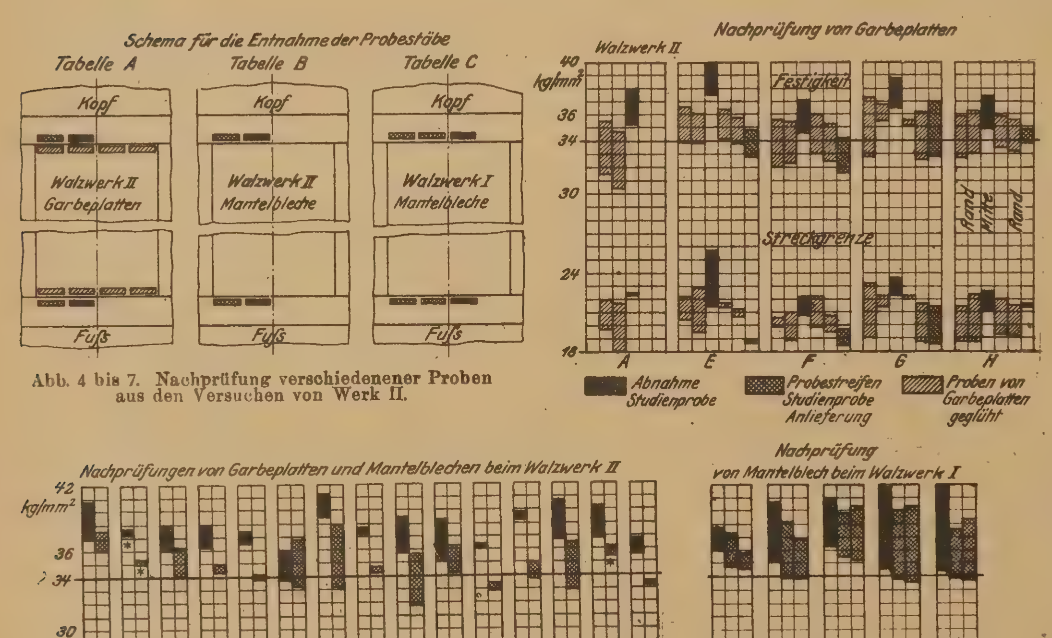


Abb. 4 bis 7. Nachprüfung verschiedenener Proben aus den Versuchen von Werk II.

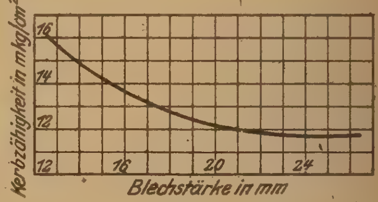


Abb. 8. Gesetzmäßiger Verlauf der Kerbschlagproben.

Ein sicherer Schluß auf die Eigenschaften des Bleches nach einer mit der Schere herausgearbeiteten Probe ist nicht möglich.

Auf Grund der Erfahrungen konnte bereits während der Arbeit die Anzahl der Proben auf die Hälfte herabgesetzt werden. Die Probestreifen brauchten statt 500 nur 200 mm breit zu sein. Wir nannten die so eingeschränkte Probe „Kleine Studienprobe".

Abb. 1 bis 3 gestatten einen anschaulichen Vergleich der Festigkeitswerte bei den beiden Walzwerken. Die Festigkeitswerte der einzelnen Proben sind in der Reihenfolge: oben lang, oben quer, unten quer und unten lang von einer Achse aus eingetragen. Es fällt sofort die Gleichmäßigkeit der Bilder vom Walzwerk I im Gegensatz zu Walzwerk II auf. Ferner wird beim Walzwerk I die bisherige Erfahrung bestätigt, daß sich die Eestigkeit der Flußeisenbleche vom Kopfende nach dem Fuß-

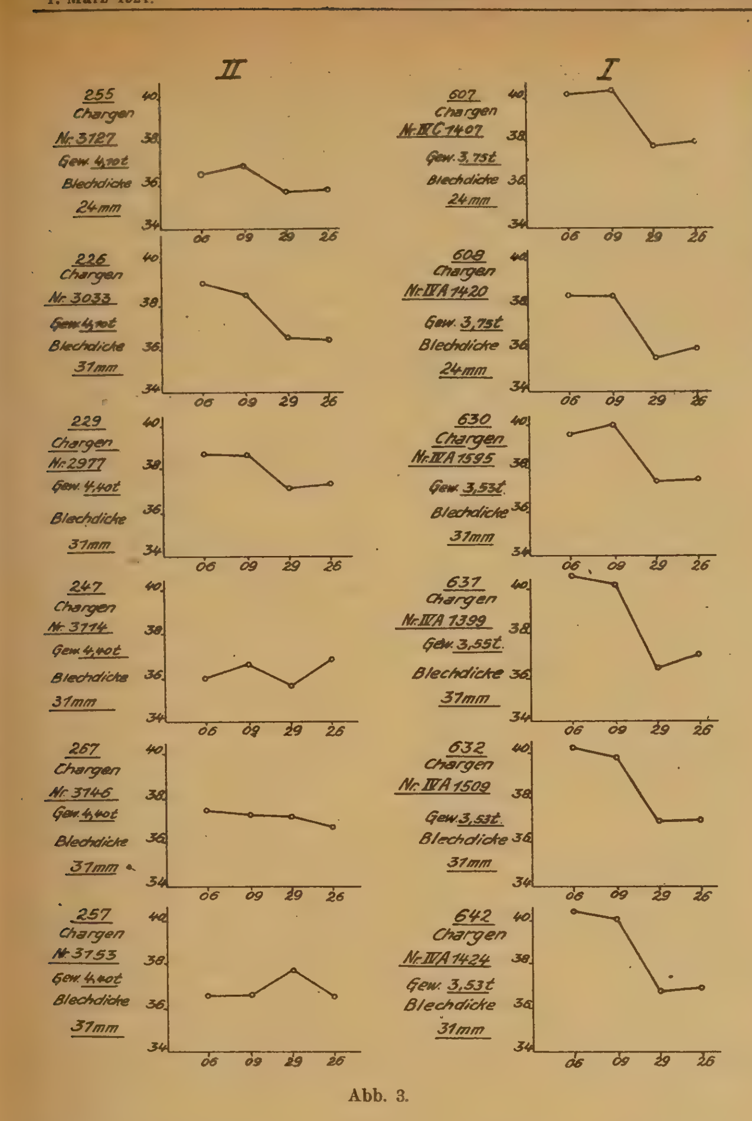


Abb. 3.

ende zu vermindert, und zwar um so stärker, je länger das Blech ist. Auch das Gesetz gestattet Unterschiede in der Festigkeit von 6 bis 7 vH. Walzwerk II lieferte hingegen eine große Anzahl von Blechen, die sehr geringe, teilweise verschwindende Festigkeitsunterschiede aufwiesen. Wir haben zunächst angenommen, daß besondere Feinheiten des Walzens und Vergütens dem Werk II ermöglicht hätten, Bleche von so gleichmäßiger Festigkeit herzustellen, und beabsichtigten daher, diesen Blechen den Vorzug zu geben. Dabei stießen wir aber auf außerordentlichen Widerstand des Walzwerkes I. Eine Aufklärung steht noch aus. Nochmalige Untersuchung der übrig gebliebenen Probestreifen und solcher Blechstücke, die bei der Verarbeitung, besonders der Garbeplatten, abgefallen sind und nach erneutem Ausglühen ebenfalls als Probestreifen benutzt werden konnten, zeigte aber das überraschende Ergebnis, daß die wiederholte Probe bei den Blechen vom Werk II durchweg wesentlich tiefere als die mit der Abnahme erreichten Werte lieferte, die sogar unter der zulässigen Festigkeitsgrenze lagen und einen merklichen Festigkeitsunterschied zeigten. Abb. 4 bis 7 zeigen noch weitere Nachprüfungen beim Walzwerk II mit ähnlichem Ergebnis, wobei sich besonders die große Anzahl von Blechen mit verschwindendem Festigkeitsunterschied bemerkbar macht, während die Nachproben wieder merkliche Festigkeitsunterschiede aufweisen. Diese Bleche hätten auf Grund der Ergebnisse der Nachprüfung zurückgewiesen werden müssen.

Die Nachprüfung einiger Bleche des Walzwerkes I ergab:

1) Die Nachprüfung stimmt mit der Abnahme überein,
2) die gesetzlichen Bestimmungen sind erfüllt, allerdings ist die gesetzliche Spanne für den Festigkeitsunterschied zum Teil voll in Anspruch genommen.

Das Ergebnis beim Walzwerk II ist uns unerklärlich. Daß wir bei den aufgewendeten ungeheuren Kosten und der wissenschaftlichen Bedeutung der Arbeit nicht auf halbem Wege stehen bleiben können, ist wohl selbstverständlich.

Auch über die Brauchbarkeit der Kerbschlagprobe für unsre Zwecke hat die Studienarbeit entschieden. In mehreren Fällen hat sich gezeigt, daß die Kerbschlagprobe Eigenschaften des Bleches nachweist, die durch Festigkeitsprüfungen nicht erfaßt werden können. Durch Einführung der halben Blechdicke läßt sich auch für dickere Bleche, etwa über 25 mm, eine Gesetzmäßigkeit der Ergebnisse für die untersuchten Flußeisensorten gewinnen, Abb. 8. Die durch die Kerbschlagprobe festgestellte Sprödigkeit des Bleches kann zumeist durch erneute Wärmebehandlung beseitigt werden. Die Kerbschlagprobe hilft also auch dem Hersteller. Die Unsicherheiten, die zweifellos bei der Kerbschlagprobe noch bestehen, vor allem über ihre Beziehungen zu der Festigkeit, stehen ihrer allgemeinen Anwendung noch im Wege. Da sie aber mit Sicherheit spröde Bleche nachweisen hilft, so scheint sie als Ergänzung der Abnahmeprobe überaus wertvoll.

Auf Grund dieser Erfahrungen haben wir neue Prüfvorschriften für Kesselbleche aufgestellt, s. Tafel 1, deren Einführung an Stelle der bisherigen amtlichen von uns erstrebt wird. Her-



Abb. 9. Blechtafel für die Festigkeitsversuche.

vorzuheben ist, daß das Abtrennen des Probestreifens erst nach vollkommen beendeter Glühbehandlung stattfinden darf, ferner die Stempel auf blankgemeißelte Stellen zu hauen sind, und daß eine Mindestkerbzähigkeit von 8 mkg/mm² gefordert wird. Die Prüfung durch einen vom Lieferwerk unabhängigen Sachverständigen bedingt den Wegfall der üblichen Werkbescheinigung.

Es wurde ferner untersucht, ob die bei der Prüfung festgestellten Eigenschaften an allen Stellen des Bleches vorhanden sind. Ein Blech vom Walzwerk II wurde herausgegriffen und von oben nach unten quer zur Walzrichtung in zehn gleichgroße

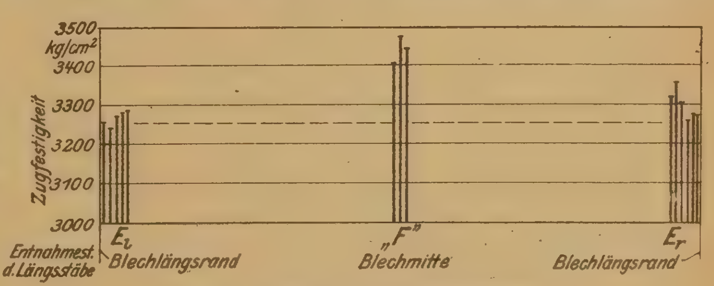


Abb. 10. Ergebnis der Zerreißversuche.

Streifen zerlegt, die in der Stuttgarter Materialprüfungsanstalt geprüft wurden. Die Gesamtlänge des Bleches betrug 5,12 m, es war also verhältnismäßig kurz. Die Festigkeit im oberen Streifen betrug 35,10, im untersten Streifen 32,64 kg/mm². Die Festigkeit der drei untersten Streifen lag unter der behördlich festgesetzten Grenze. An den beiden Außenkanten des mittleren Streifens wurden je sechs dicht nebeneinander liegende Längsproben untersucht. Ihre Festigkeit nimmt innerhalb eines Streifens an den beiden Kanten sehr rasch und nicht unerheblich ab. Daraus geht besonders hervor, daß das Blech an der Kante geringere Festigkeit hat, sowie anders zusammengesetzt ist als nach der Mitte zu, s. Abb. 9 und 10. Einen besonders anschaulichen Beweis hierfür erbringt die Kerbschlagprobe, s. Abb. 11 bis 13.

Das Ergebnis dieser Untersuchung muß der Konstrukteur besonders beachten. Die Bleche der Steilrohrkesseltrommeln pflegen quer zur Walzrichtung gerollt zu werden. Dadurch kommen die Längsnietnähte, also der schwächste Teil des Kessels, in die Seigerungszone der Blechtafel, die wesentlich andre Eigenschaften hat, als der Konstrukteur sie bei seiner Berechnung zugrunde gelegt hat, s. Abb. 14 bis 17.

Tafel 1. Vergleich der gesetzlichen Prüfungsvorschriften mit den Bedingungen der Studienprobe.

	I Gesetzliche Bestimmungen	II Große Studienprobe	III Kleine Studienprobe	IV Neueste Forderungen
1. Welche Bleche für eine Kessellieferung sollen geprüft werden	1. Alle im ersten Feuerzuge, 2. 50 vH der übrigen	Alle Rohbleche	Alle Rohbleche	Alle Rohbleche
2. Abnehmender Beamter	Beamter des Walzwerks	Beamter des Walzwerks gemeinsam mit Sachverständigem des Bestellers	Wie bei II	Anerkannter Sachverständiger
3. Zustand der vorgelegten Bleche	An zwei Seiten unbeschnitten, Material für Probestäbe muß vorhanden sein	Am Kopf- u. Fußende Probestreifen von 500 mm, sonst beschnitten (Walzwerk I legte unbeschnitten vor)	Am Kopf und Fußende Abschnitt von 200 mm Breite, sonst beschnitten	Unbeschnitten, angezeichnet zur Anstempelung
4. Glühbehandlung des Bleches nach Beschneiden und Vorlage zum Anstempeln	Ausglühen	Mit abgeschnittenen Probestreifen zusammen nochmals zu glühen	Wie bei II	Abgeschlossen vor Vorlage
5. Abtrennen der Probestreifen	Beliebig	Beliebig, Sicherheitszone	Beliebig, Sicherheitszone	Mit Schneidbrenner Sicherheitsstreifen von mind. 5 mm. Kein Scherenschnitt
6. Glühbehandlung der Probestreifen	Material muß ausgeglüht sein	Zusammen mit Blech	Wie bei II	Keine mehr
7. Heraustrennen der Probestäbe, Bearbeiten derselben	Mit Schere, rotglühend gerade richten, Bearbeitung der Kanten	Auf kaltem Wege, kein Ausglühen mehr, kein Scherenschnitt	Wie bei II	Kein Scherenschnitt
8. Stempelung	Auf Blech zwei Stempel, sonst keine Vorschriften	Wie bei I, sonst dem Beamten überlassen. Kopf und Fußende bezeichnen nach Abb. 1	Wie bei II nach Abb. 2	Wie bei I alle Stempel auf metallisch blank gemeißelte Stellen, sonst nach Abb. 3
9. Prüfung der Zugfestigkeit-Meßlänge, Querschnitt	200 mm tunlichst, 300 mm², an Kanten sauber bearbeiten	$L = 11{,}3\sqrt{f}$ Walzhaut belassen	Wie bei II	$L = 200$ mm $Q = 314$ mm². Bei Blechdicken über 25 mm $L = 200$ mm $Q = 1256$ mm² Zuschläge zur Dehnung, Walzhaut belassen
Zu erreichende Werte, Lage und Anzahl der Proben	34 bis 41 kg/mm² Längs- und Querproben, Anzahl nicht angegeben	Desgl. 1 Zerreißprobe längs, 1 „ „ quer, am Kopf und am Fußende	Desgl. je eine Probe quer am Kopf und Fußende	Desgl., je eine Probe quer am Kopf und Fußende
Sonstige Messungen beim Zerreißversuch	Dehnung	Dehnung, Streckgrenze, Kontraktion	Wie bei II	Wie bei II
10. Prüfung der Zähigkeit	Keine	1 Kerbschlagprobe längs, 1 „ „ quer, am Kopf und am Fußende 75 mkg Pendelschlagwerk nach Charpy	Je eine Kerbschlagprobe quer am Kopf und Fußende Desgl.	Je eine Kerbschlagprobe quer am Kopf und Fußende Desgl., bei Blechdicke über 25 mm halbe Probenbreite
Mindestwerte der Zähigkeit		Nicht festgesetzt	Desgl.	8 mkg/cm²
11. Hartbiegeprobe	In Längs- und Querfaser, Zahl beliebig			
Bedingungen	Flach um 180 ° in Längs- und Querfaser			
12. Sonstige Prüfungen		Die amtliche Prüfung unter I	Die amtliche Prüfung unter I	
13. Besond. Bestimmungen:				
a) Schliffe		Querschliff mit photographischer Aufnahme bei jedem zehnten Blech		
b) Chargenanalyse		Für jedes Blech	Für jedes Blech	
c) Aufbewahrung der Probestreifen		Reste aufbewahren	Desgl.	
d) Einrichtung der Prüfmaschinen				Zerreißmaschine selbsttätig, Aufzeichnung der Zerreißdiagramme bei jedem Versuch

Bach und Baumann haben in zahlreichen Veröffentlichungen über gerissene Kesselbleche festgestellt, daß die Festigkeit bei mehr als der Hälfte der geschädigten Bleche an oder unter der zulässigen Grenze gelegen hat. Nicht die Bruchfestigkeit entscheidet die Brauchbarkeit eines Bleches, sondern in viel höherem Maße seine Empfindlichkeit gegen die Einflüsse der Bearbeitung, der Konstruktion und des Betriebes. Diese Empfindlichkeit scheint in den Randzonen von Feuerblech I besonders groß zu sein. Man muß daher die Zulassung von Blechen höherer Festigkeit, die sich im Schiffskesselbau längst bewährt haben, auch für Landdampfkessel anstreben. Für die Hochdruckkessel kommen sie mit Rücksicht auf Wandstärke und Gewicht nicht in Frage.

Die mitgeteilten Erfahrungen bei Blechprüfungen bestätigen den Wert und die Notwendigkeit sorgfältiger Prüfung der Bleche und die Unzulänglichkeit der bisherigen Vorschriften für die Bedürfnisse des Konstrukteurs bereits bei Kesseln von heute üblichen Drücken. Damit man die Beanspruchungen bei Hochdruckkesseln sicher beherrschen kann, ist weitgehende Kenntnis der Blecheigenschaften in weit höherem Maße Bedingung für die Betriebsicherheit.

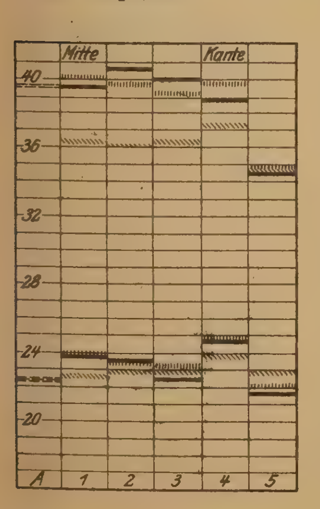
Erfahrungen über die Einflüsse der Herstellung der Kessel.

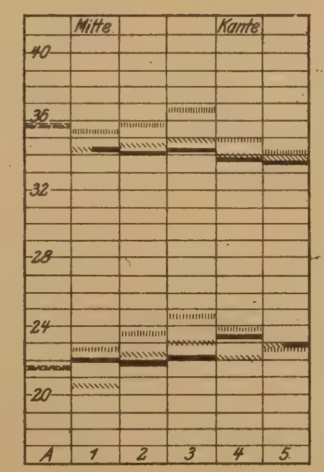
Sie beantworten die Frage: Bleiben die am Blech beim Verlassen des Walzwerkes festgestellten Eigenschaften erhalten, oder inwieweit muß man eine Verschlechterung durch die Einflüsse der Formgebung befürchten?

Die Materialprüfungsanstalten Berlin-Lichterfelde und Stuttgart prüften in unserem Auftrage den Einfluß des Rollens an je 12 Kesselblechabschnitten, die auf sechs verschiedene Krümmungshalbmesser von 440 bis 760 mm gerollt waren. Prof. Bauer weist einen gewissen Einfluß besonders bei den kleinsten Halbmessern nach, hat aber keinen Schluß gezogen, welche Durchmesser unzulässig sind und in welchem Grade die Eigenschaften des Bleches durch das Rollen verändert werden. Es scheint daher notwendig, diese Frage noch zu klären, hierbei aber auch den Einfluß des teilweise noch üblichen stückweisen Vorbiegens der Blechkanten zu untersuchen, weil hierbei viel kleinere Halbmesser als beim Rollen des Bleches verwendet werden. Bei einzelnen Bauformen der Kessel, z. B. bei Garbeplatten, ist ferner mehrfache Wärmebehandlung nötig, die vielfach zur Bildung groben Eisenkornes führt. Solche Bleche haben geringe Zähigkeit.

Der Einfluß der Temperatur auf die Eigenschaften der Kesselbleche wurde ebenfalls untersucht. Bei 16 at beträgt die Blechtemperatur etwa 220 °, bei 100 at etwa 330 °; diese reicht also schon in das Gebiet der Blauwärme, wo bekanntlich gewaltsame Behandlung des Bleches besonders gefährlich ist. Ergebnisse solcher Untersuchungen sind in Abb. 18 dargestellt. Auffällig ist, wie sich mit zunehmender Temperatur insbesondere die Streckgrenze verschiebt und bei höheren Temperaturen nicht mehr scharf ausgeprägt ist.

Das Formen der Böden ist gleichfalls mit starker Beanspruchung des Bleches verbunden; deutlich sichtbare Streckfiguren treten an den am höchsten beanspruchten Stellen in Abb. 19 und 20 auf und deuten daraufhin, daß das Material über die Streckgrenze hinaus gestreckt worden ist. Zur Zeit stellt die Materialprüfungsanstalt Stuttgart Versuche an, um die günstigste Form der Kesselböden zu ermitteln. Dr. Diegel hat eine elliptische Querschnittform empfohlen.





Randzone — Kernzone — ganzer Querschnitt — Abnahme Studienprobe

Abb. 11. Blech Nr. 13 oben.

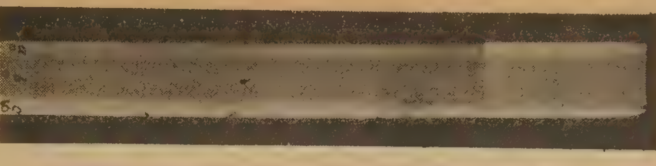
Abb. 12. Blech Nr. 13 unten.

mkg/cm² — 14, 12, 10, 8, 6, 4 — A 1 2 3 4 5

Abnahme Studienprobe — oben — unten

Abb. 13. Blech Nr. 13 oben und unten.

Abb. 11 bis 13. Zerreiß- und Kerbschlagproben.



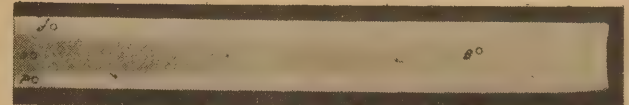
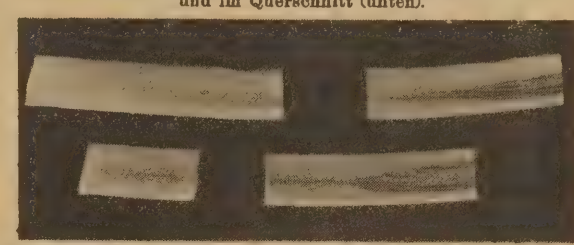
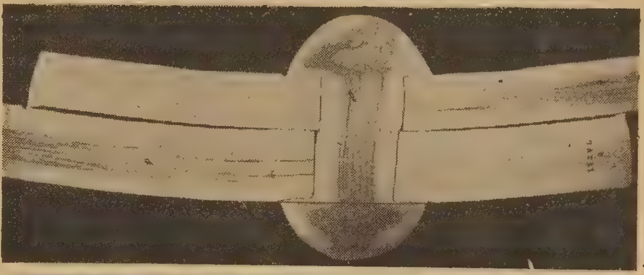
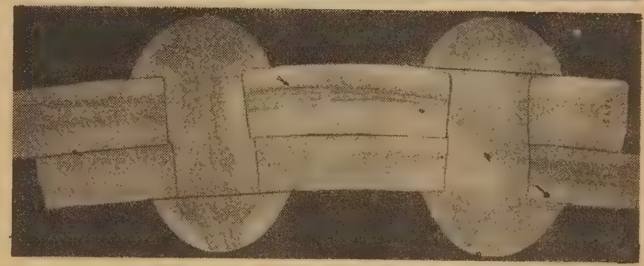


Abb. 14. Verlauf der Seigerung im Längsschnitt (oben) und im Querschnitt (unten).







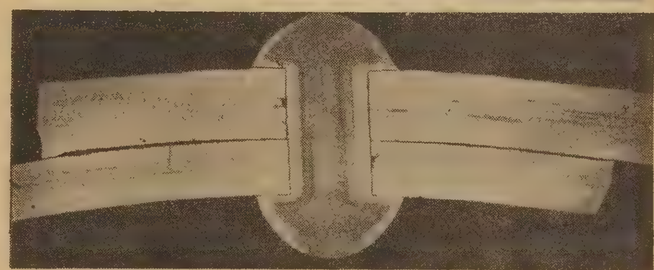


Abb. 15 bis 17. Auslauf der Seigerung im Gebiet der Nietnaht.

Größte Beachtung verdienen die Einflüsse beim Herstellen der Nietverbindung. Besonders klaren Einblick gewährt hier die bekannte Arbeit von Baumann[1]). Der schädliche Einfluß zu hohen Nietdruckes geht aus dieser Arbeit besonders anschaulich hervor. Zu hoher Nietdruck verursacht weitgehende Formänderungen und wechselnde Materialbeanspruchungen, und zwar teilweise bei gefährlichen Temperaturen. Baumann hält einen Nietdruck von 6500 bis 800 kg/cm² für ausreichend[2]).

Anfang 1921 ermöglichten die Kesselhersteller eine Besichtigung von 12 Kesselschmieden, woran sich auch die Dampfkessel-Revisionsvereine beteiligten. Hierbei wurde festgestellt, daß damals noch durchweg höhere Nietdrücke angewendet wurden, als Baumann für notwendig hält, Tafel 2 a. Im Laufe der letzten Jahre wurden jedoch die Nietdrücke erheblich verringert, und man hat gute Nietköpfe und dichte Nietnähte erhalten, was man anfänglich für unmöglich erklärt hatte.

[1]) „Die Beanspruchungen der Bleche beim Nieten". Forschungsarbeiten des Vereines deutscher Ingenieure 1922.
[2]) s. auch Z. 1912 S. 1890.

Wie weit die Zähigkeit eines sonst normalen Bleches im Gebiete der Nietnaht geschwächt werden kann, zeigt Tafel 2 b, die einem Bericht der Materialprüfungsanstalt Stuttgart entnommen ist; während das volle, auf 1200 mm Halbmesser gerollte Mantelblech außerhalb der Nietnaht noch nach Jahren im Betrieb erheblich höhere Kerbzähigkeit aufweist, ist im Gebiete der Nietnaht die Kerbzähigkeit infolge übermäßiger Beanspruchung der Bleche beim Nieten außerordentlich gering.

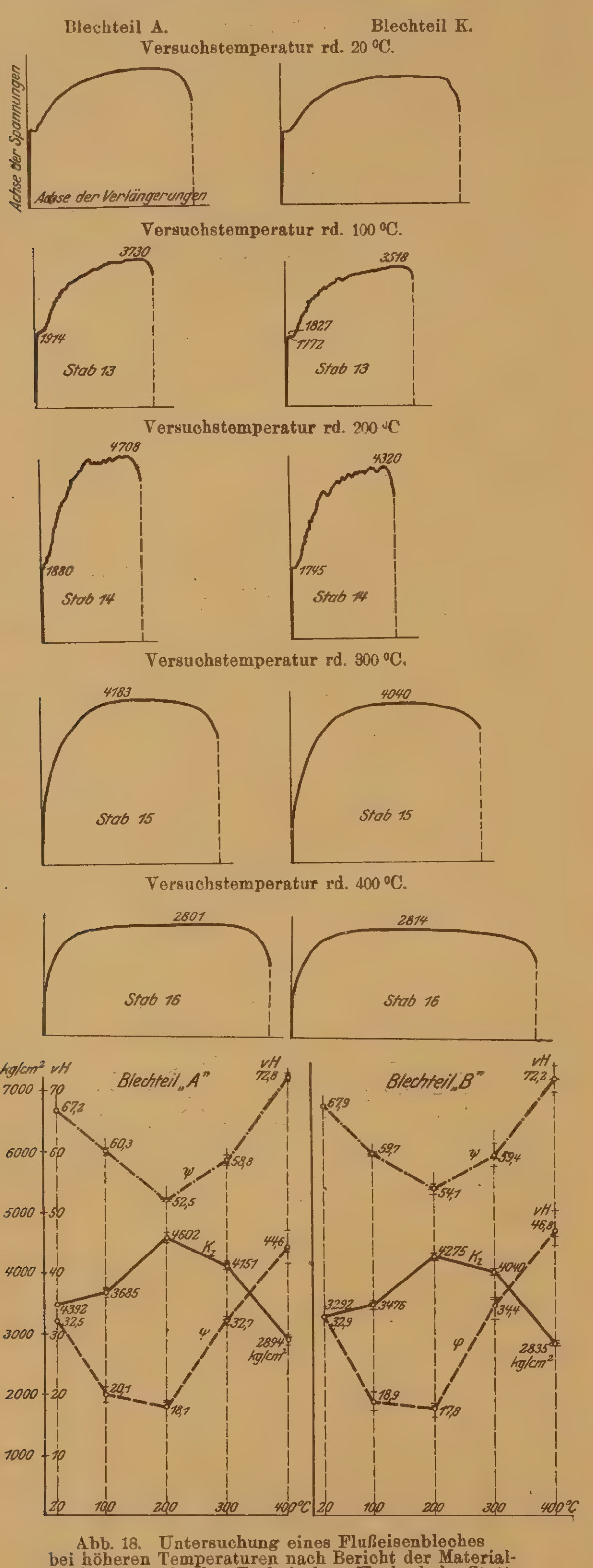


Abb. 18. Untersuchung eines Flußeisenbleches bei höheren Temperaturen nach Bericht der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart vom 15. Oktober 1922.

Daß im Gebiete der Nietnaht sehr erhebliche Formänderungen infolge des Nietdruckes eintreten können, zeigen Abb. 21 bis 23.

Es ist daher bei der Herstellung der Kessel in der Werkstatt besonderer Wert auf gutes Anpassen der Bleche zu legen. Die Güte der Anpaßarbeit hängt sehr von der Zuverlässigkeit der Arbeiter ab. Als Mittel zur Überwachung dieser Arbeit erscheint die Bauüberwachung zweckmäßig. Die Bauüberwachung ist an sich nicht neu und noch heute bei süddeutschen Vereinen allgemein im Gebrauch. Auch die preußische Staatsbahn übt eine weitgehende Bauüberwachung aus. Störungen des Betriebes können dabei vermieden werden, auch lassen sich besondere Fabrikationsmethoden geheim halten. Die Ausführung der Bauüberwachung könnte den Dampfkessel-Revisionsvereinen übertragen werden. Ihre Ingenieure müssen aber entsprechend vorgebildet werden. Die Bauüberwachung muß regelmäßig erfolgen und sich auf jede Stufe des Baues erstrecken. Gelegentliche Besichtigungen haben wenig Nutzen. Bei größeren Aufträgen sollte ein Betriebsingenieur des Bestellers die Bauüberwachung ausführen. Dies gewährt den Vorteil, daß die Ausbildung des Betriebsingenieurs vervollkommnet wird; denn wer seine Kessel bereits in der Werkstatt kennen gelernt hat, kann sie im Betriebe viel verständnisvoller behandeln. Beim Bau von Hochdruckkesseln dürfte dieses Hilfsmittel besonders vorteilhaft sein. Natürlich soll die Bauüberwachung die herstellende Fabrik nicht von Verantwortung entlasten.

Tafel 2a. Nietdrücke.

Werk Nr.	Nietdurchmesser mm	Nietdruck kg/cm²	Druckdauer s
I	25	10 000	20
	28	11 400	25
II	26	12 000	nach Gefühl
	28	12 500	
III	25	12 000	nach Gefühl
	27	11 900	
IV	25	10 000	20
		bis	
	28	11 000	20
V	26	11 700	15
	28	10 100	15
VI	26	12 800	nach Gefühl
	28	14 300	
VII	26	12 000	20
	28	10 400	20
VIII	26	11 400	20
	28	9 850	20
IX		zwischen 9 400 und 12 400	für 26 Ø 14 bis 16 s
X	26	9 400	20
	28	12 200	20
XI	25	15 700	25
	28	14 800	
XII	26	8 000 bis 9 000	nach Gefühl rd. 20

Tafel 2b.

Kerbzähigkeit von Probestäben in mkg/cm².

I. Aus dem vollen Mantelblech.

	parallel zur Kesselachse			senkrecht zur Kesselachse		
im Einlieferungszustand	12,7	8,1	8,6	9,0	9,4	8,5
im ausgeglühten Zustand	17,3	15,2	15,3	13,9	14,2	15,7

II. An den überlappten Blechenden aus dem Gebiet der Nietnaht.

	vordere Nietnaht			hintere Nietnaht		
im Einlieferungszustand	0,8	1,2	0,9	1,1	0,9	0,9
im ausgeglühten Zustand	16,7	15,6	16,6	11,0	12,2	10,7

Es scheint notwendig, zu prüfen, ob man nicht bei der Berechnung der Blechstärke noch andere Kräfte als die Zugkraft berücksichtigen muß, die der innere Überdruck auf die Projektion der zylindrischen Wandung ausübt. Zunächst ist festgestellt, daß der Nietdruck und seine Folgewirkung einen Teil des tragenden Querschnittes beansprucht. Diese Beanspruchung kann nach Baumann leicht über die Streckgrenze hinausgehen. Ferner sind Spannungen, wie sie die Trommeln in Abb. 24 und 25 erkennen lassen, ebenfalls erhebliche Zusatzbelastungen und zu vermeiden. Endlich kommen auch Längenänderungen des Materials infolge wechselnder Temperatur hier in Frage.

Daß sich die Kesselfabriken in kurzer Zeit allgemein auf nahtlose oder geschweißte Trommeln umstellen könnten, ist nicht zu erwarten, weil solche Trommeln zunächst von sehr wenigen Walzwerken hergestellt werden. Die unbedingt betriebsichere Herstellung der Nietnaht bleibt also auch für Hochdruckkessel eine wichtige Aufgabe. Auch bei Anlagen für 35 at werden z. Zt. noch genietete Oberkessel verwendet.

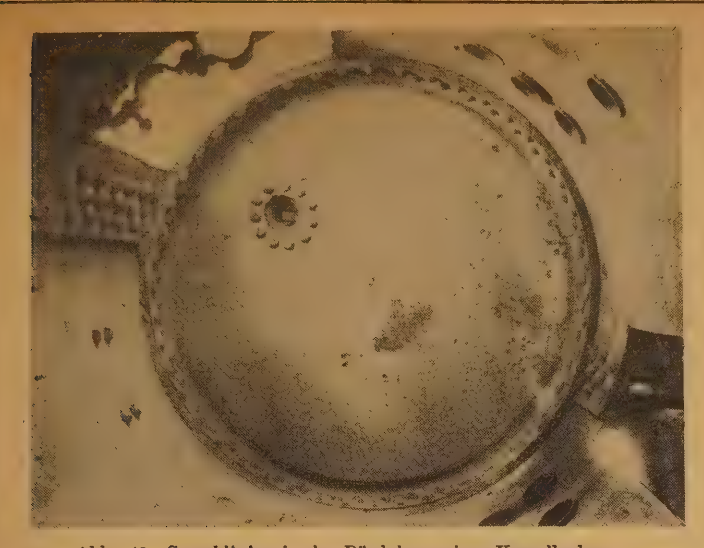


Abb. 19. Strecklinien in der Bördelung eines Kesselbodens.

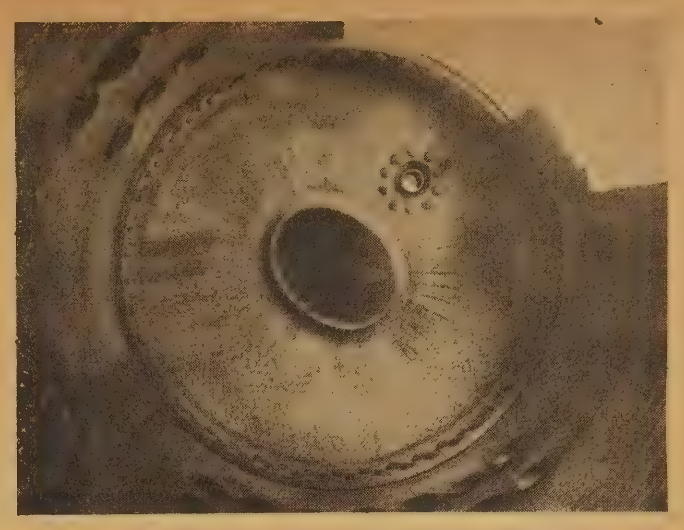


Abb. 20. Strecklinien in einem Kesselboden.

Bei einer so verantwortungsvollen Neuerung, wie dem Hochdruckkessel, muß man auch die gesetzliche Regelung des Dampfkesselwesens betrachten. Diese erstreckt sich auf:

1. die Material- und Bauvorschriften,
2. die Tätigkeit der Revisionsvereine.

Die Hauptmängel der heutigen gesetzlichen Material- und Bauvorschriften bestehen darin, daß sie nicht nur Richtlinien geben, sondern in weitem Umfange technische Einzelheiten festlegen. Ferner arbeitet der behördliche Apparat so schwerfällig, daß meist Jahre bis zur gesetzlichen Anerkennung einer Änderung vergehen. Die Folge dieser Mängel war, daß sich das Gefühl der Verantwortlichkeit bei allen Beteiligten gemindert hat und eine Erstarrung und deutliche Hemmung der Entwicklung eingetreten ist.

Kein anderer Zweig unserer Industrie ist mit behördlichen Vorschriften in solchem Maße bedacht wie gerade das Dampfkesselwesen. Es ist aber ein Irrtum, daß hierzu eine erhöhte Unfallgefahr nötige. Die Statistik beweist hier gerade das Gegenteil. In seiner Schrift „Die Grundlagen der deutschen Material- und Bauvorschriften" bespricht Baumann die Unfallstatistik des Reichsversicherungsamtes mit folgendem Ergebnis:

„Diese Zahlen zeigen deutlich, wie außerordentlich weit die Schädigungen durch den Dampfkessel zurücktreten gegenüber denjenigen durch andere Ursachen, dank den Leistungen des Maschinen- und Kesselbaues sowie des Eisenhüttenwesens, dank der Überwachung insbesondere durch die von der Industrie ins Leben gerufenen Revisionsvereine, ferner dank derjenigen Arbeiten,

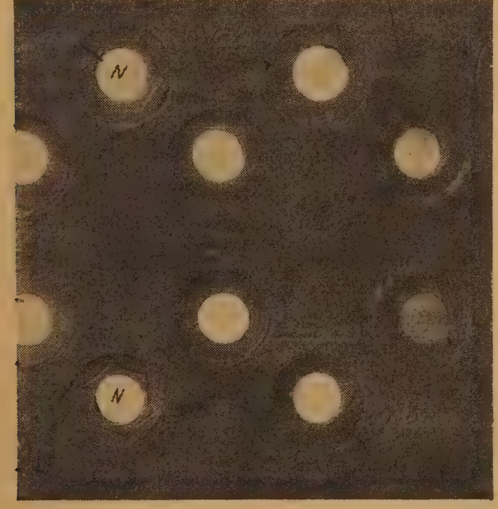


Abb. 21.



Abb. 22.

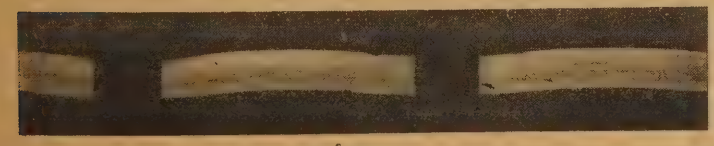


Abb. 23.

Abb. 21 bis 23. Formänderungen infolge des Nietdruckes.

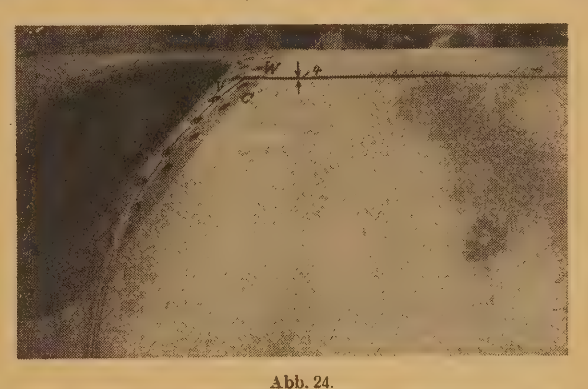


Abb. 24.



Abb. 25.

Abb. 24 und 25. Spannungserscheinungen in Kesseltrommeln.

welche sich mit der Forschung auf dem Gebiete des Dampfkesselwesens beschäftigen . . .“

„Bei der erstmaligen Aufstellung der allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln 1871 für das Reich ließ man alle diese ins Einzelne gehenden Vorschriften fallen und stellte sich in der Hauptsache auf den Standpunkt, daß die Wahl der Konstruktion und des Materials, die Bestimmung der Wandstärken usw., sowie die Ausführung dem Verfertiger unter seiner Verantwortung überlassen werden kann. Man hatte eben erkannt, daß es weder im Interesse der Allgemeinheit noch in demjenigen der Industrie liegt, daß die Behörden Vorschriften über solche technischen Einzelheiten geben, welche von dem ständigen Fortschritte in Wissenschaft und Technik abhängen.“

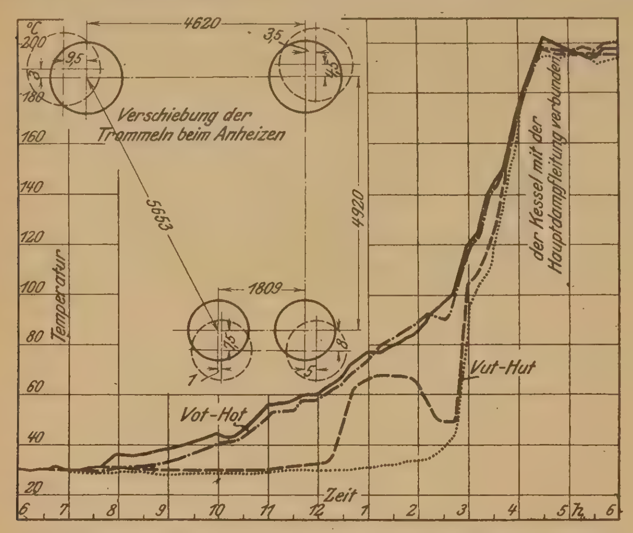


Abb. 26. Temperaturkurve bei einem 12 stündigen Anheizversuch an einem Garbekessel.

Im Laufe der weiteren Entwicklung verschwand dieser freiheitliche Geist sehr rasch. Es entstand die Polizeivorschrift, verbunden mit dem Polizeigeist, der ihren starren, rein formalen Vollzug überwacht.

Es ist zu hoffen, daß die vollständige Umgestaltung des beratenden Organs der Behörde, der Dampfkessel-Normen-Kommission, jetzt Deutscher Dampfkessel-Ausschuß, den Auftakt zu einer freiheitlicheren Entwicklung gibt. Durch Beschränkung der behördlichen Einspruchsfrist auf 4 Wochen ist das Tempo der Erledigung von Änderungen beschleunigt worden. Ferner heben die neuen allgemeinen polizeilichen Bestimmungen die Verantwortung des Herstellers und die Unvollkommenheit der Vorschriften stärker hervor. Die Unterkommissionen für die Umarbeitung der bestehenden Vorschriften haben die Aufgabe, dem tüchtigen Konstrukteur die Bahn zu öffnen und das Gefühl der Verantwortlichkeit bei allen Beteiligten zu heben.

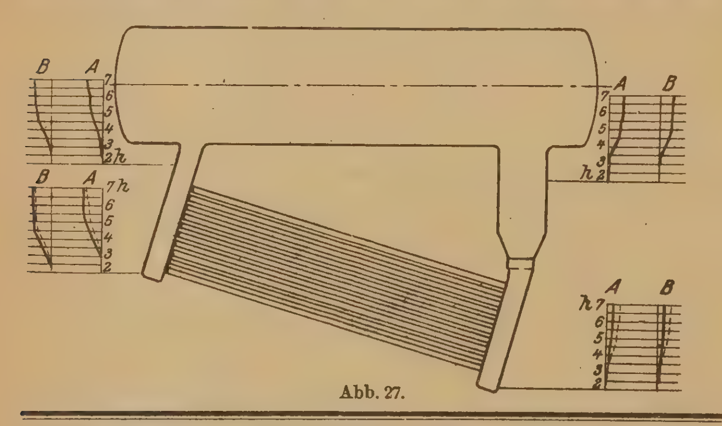


Abb. 27.

Temperaturausgleich des Kessels 9a beim Anheizen am 20. III. 22. Versuch II.

Uhrzeit	vorn außen oben	vorn außen unten	vorn mitten oben	vorn mitten unten	vorn innen oben	vorn innen unten	hinten außen oben	hinten außen unten	hinten mitten oben	hinten mitten unten	hinten innen oben	hinten innen unten	Dampfdruck at	Bemerkungen
2^{00}	50	47	50	47	50	46	41	43	45	45	47	45		Feuer angezündet
^{15}	50	47	50	48	50	47	41	43	45	46	47	45		
^{30}	50	48	50	49	50	48	46	12	46	41	46	42		
^{45}	50	50	52	50	50	50	46	43	41	42	45	40		
3^{00}	56	52	57	54	55	52	53	46	52	43	54	42		
^{15}	63	65	67	68	64	65	64	63	65	60	65	64		
^{30}	86	85	88	88	85	86	84	83	86	81	85	83		
^{45}	107	107	110	111	106	108	106	105	110	102	105	104		
4^{00}	122	123	128	127	123	121	123	122	128	120	124	123	2	Entlüftung geschlossen
^{15}	140	141	145	146	143	144	141	140	143	138	142	140	3,5	
^{30}	161	160	164	166	160	162	157	153	158	152	155	157	6	Roste laufen
^{45}	172	173	174	176	172	174	171	173	175	158	171	174	8,2	
5^{00}	180	181	184	185	180	180	181	179	182	178	179	181	10,2	
^{15}	190	190	190	195	190	190	192	190	192	190	192	190	12,2	Kessel in die Leitung genommen
^{30}	192	192	190	195	190	192	190	190	190	190	190	192	12,6	
^{45}	192	193	190	195	190	193	192	190	190	191	190	194	12,6	
6^{00}	192	194	190	197	192	193	193	190	192	192	193	192	13	
	a	d	b	e	c	f	k	n	i	m	h	l		

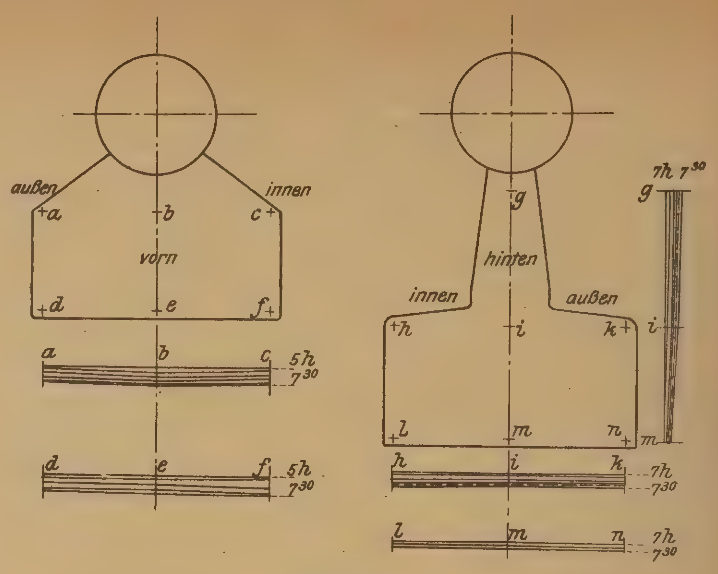


Abb. 28 und 29.

Verschiebungen des Kessels 9a beim Anheizen am 24. IV. 22. Versuch III.

Uhrzeit	vorn oben außen a	vorn oben mitten b	vorn oben innen c	vorn unten außen d	vorn unten mitten e	vorn unten innen f	Hals g	hinten oben innen h	hinten oben mitten i	hinten oben außen k	hinten unten innen l	hinten unten mitten m	hinten unten außen n	Dampfdruck at	Bemerkungen
5^{00}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
^{30}	1	2	0,5	2	2	1	1	1	1	1	0,5	0	0	1	Entlüftung geschlossen
6^{00}	3	5	4	5	5	6	4	3	3,5	3	1,5	1	2	2	
^{30}	6	7,5	6	8	8	9	6	5	5	4	3	2	2,5	9	6^{45} Kessel in die Leitung genommen
7^{00}	7,5	9	8	9	10	10	8	6	6	4	3	3	3	14,3	
^{30}	8	9,5	9	9	10	10	7	5,5	5,5	4	3	8	3	13	

Die deutschen Revisionsvereine, gegründet und erhalten durch die Kesselbesitzer, haben die Entwicklung des Dampfkesselwesens bisher in hervorragendem Maße fördern können. Die dort angesammelten Erfahrungen können beim Übergang zum Hochdruckkessel von größtem Wert sein. Voraussetzung ist, daß die Vereine auf der Höhe des technischen Könnens bleiben, das zur Lösung der neuen Aufgaben erforderlich ist, und sich das Vertrauen der Industrie bewahren.

Einflüsse des Betriebes.

Es handelt sich hierbei nicht um die Wirkung menschlicher Fehler, also um Verstöße gegen Vorschriften. Auch die Dampfkesselbetriebe können, solange wir Menschen darin beschäftigen, nicht ganz frei von den Wirkungen menschlicher Schwächen bleiben. Vielmehr sollen nur solche Einflüsse betrachtet werden, die mit der Eigenart eines Betriebes und dem Wesen eines Kessels verbunden sind. Ohne genaue Kenntnis dieser Einflüsse ist eine sachgemäße Behandlung des Kessels im Betriebe schwer möglich.

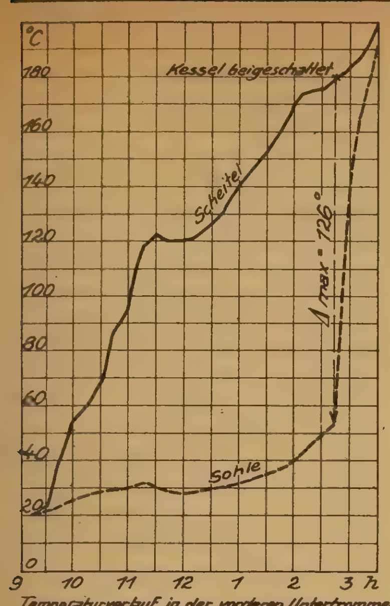
Zunächst verschaffte eine Umfrage in unseren größten Betrieben einen Einblick in die zur Zeit gültigen Betriebsvorschriften, soweit sie von den Überwachungsbehörden, den Herstellern und den Betrieben selbst aufgestellt waren[1]). Die Prüfung der Vorschriften ergab eine große Zahl offener Fragen, deren Klärung nicht nur für die sachgemäße Behandlung der vorhandenen Kessel, sondern auch für Neubestellungen wichtig war, weil sie ermöglicht, den zu bestellenden Kessel an die Eigenart des Betriebes anzupassen.

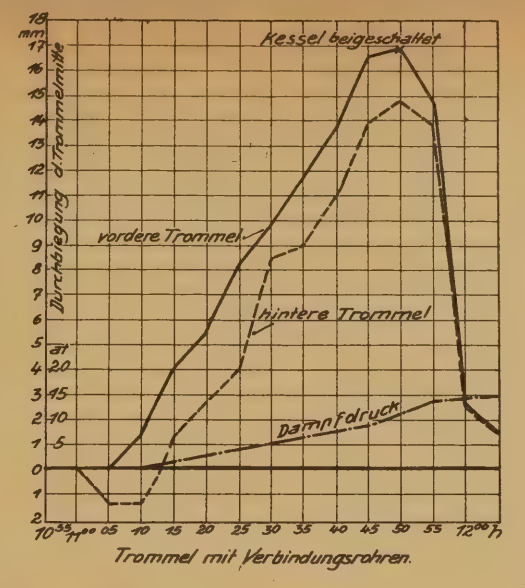
Untersuchungen dieser Art können nur die Betriebe selbst ausführen, vielfach haben sich aber die Kesselfirmen hieran beteiligt.

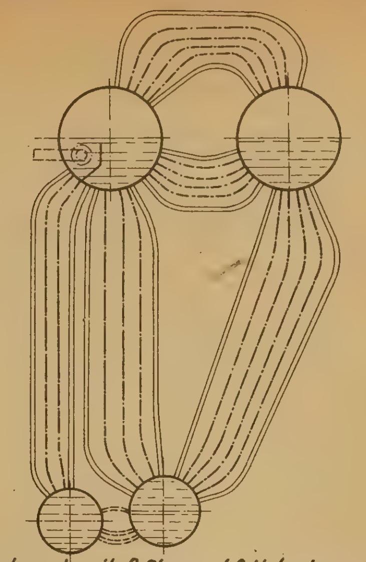
Materialbeanspruchungen durch Temperaturänderungen.

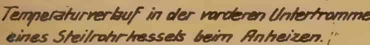
Erwärmt oder kühlt sich irgend ein Kesselsystem, z. B. vom Viertrommeltyp Walther, Garbe, Hanomag oder ein Zweikammerkessel, völlig gleichmäßig, so können darin keine Spannungen auftreten. Mit dem Betriebe sind aber Temperaturänderungen verbunden, z. B. bei Unregelmäßigkeiten oder Unterbrechungen der Speisung, wechselnder Temperatur des Speisewassers, schwankendem Wärmeangebot der Feuerung, die an einer Stelle des

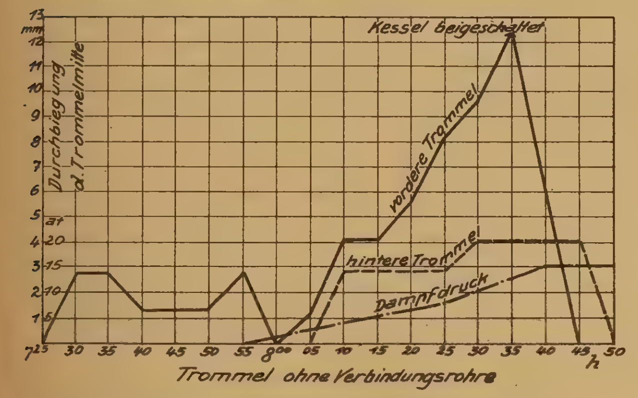
[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 1122.











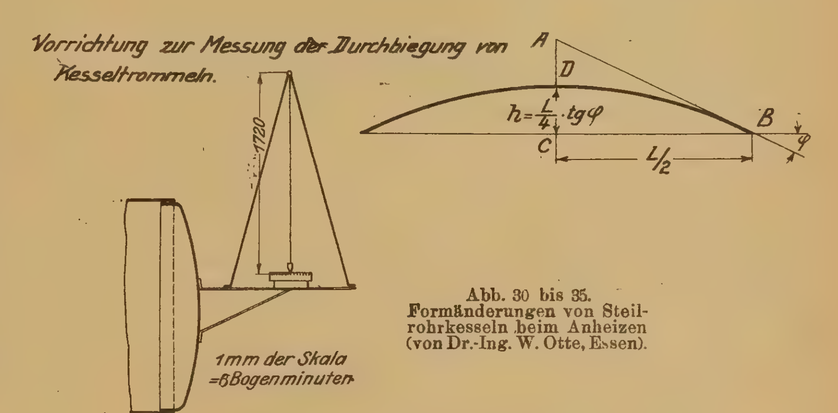


Abb. 30 bis 35. Formänderungen von Steilrohrkesseln beim Anheizen (von Dr.-Ing. W. Otte, Essen).

Kessels beginnen und sich entsprechend mit dem Wasserkreislauf nur allmählich im ganzen Kessel ausgleichen. Auch stärkerer Kesselsteinbelag in den vorderen Siederohren kann bewirken, daß sie sich dauernd stärker als die Rohre der hinteren Rohrbündel ausdehnen und damit Verspannungen hervorrufen.

Über die Art und Größe solcher Spannungen und der damit verbundenen Materialbeanspruchungen waren Versuche an besonderen Probekörpern in der Materialprüfanstalt und an Kesseln im Betrieb notwendig, die sich auf möglichst viele Kesselsysteme erstrecken sollen. Einige Werke haben mit diesen Untersuchungen bereits begonnen.

So berichtete das Elektrizitätswerk Düsseldorf über Messungen der Lagenänderung von 4 Trommeln eines Garbekessels beim Anheizen sowie über Spannungsmessungen an einem Zweikammerkessel. An einem Steilrohrkessel hat man ungleichmäßige Verschiebungen der Trommeln gegeneinander festgestellt, die zu Spannungen führen müssen; im Kammerkessel war die Ausdehnung gleichmäßiger, s. Abb. 26 und 27 bis 29. Die Messungen wurden beim Anheizen des Kessels vorgenommen. Der Temperaturausgleich erfolgte im Kammerkessel ganz gleichmäßig. Beim Steilrohrkessel war während des Anheizens nur ein sehr geringer Ausgleich der Temperaturen festzustellen; er setzte jedoch schlagartig in dem Augenblick ein, wo mit der Dampflieferung begonnen wurde.

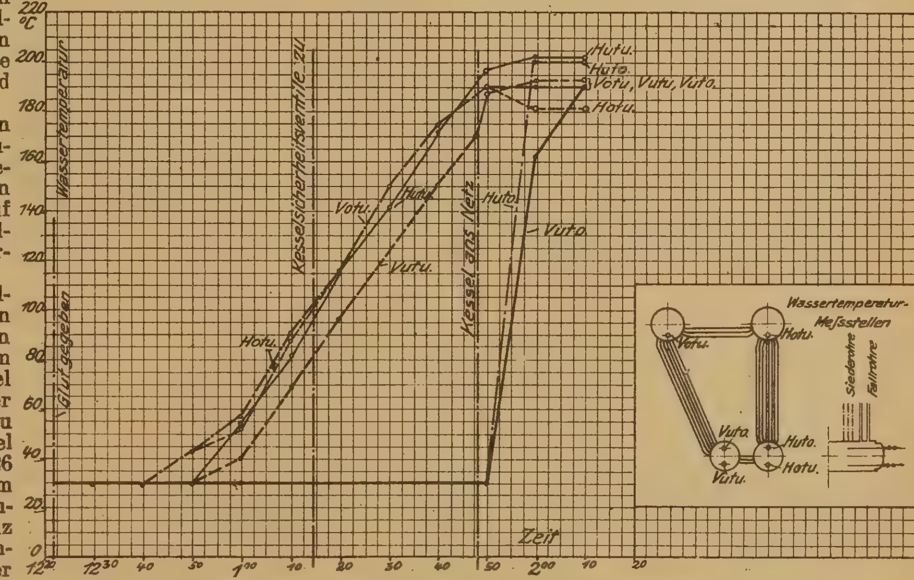


Abb. 36. Temperaturverlauf im Kesselwasser beim Anheizversuch am 6. 1. 1922.

Auch im Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk Essen hat man die Formveränderung von Steilrohrkesseln während des Anheizens gemessen[1]; die Ergebnisse sind in Abb. 30 bis 35 dargestellt. Auch hier hat man festgestellt, daß der Temperaturausgleich z. B. zwischen Scheitel und Sohle der vorderen Untertrommel erst im Augenblick der Beischaltung des Kessels erfolgt, wo die eigentliche Dampfbildung beginnt. Der Wasserumlauf ist also bei den untersuchten Kesseln während des Anheizens sehr mangelhaft. Die Folgen sind ungleichmäßig verteilte Temperaturen, die zu Spannungen im System führen müssen. Ferner hat man im Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk Durchbiegungen der Kesseltrommeln gemessen, die Biegungsbeanspruchungen in den Nietnähten ergeben müssen.

Ein drittes Werk führte eine Messung des Temperaturverlaufes beim Anheizen eines Hanomagkessels aus, Abb. 36, deren Ergebnis eine überraschende Übereinstimmung mit den Versuchen in Düsseldorf und Essen zeigt, nämlich während des Anheizens große Temperaturunterschiede, die schlagartig bei Beginn der Dampfentwicklung verschwinden.

(Schluß folgt.)

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 1021.

Maschinen und Herstellungsverfahren im Dampfkesselbau.

Von F. Loch, Düsseldorf-Ratingen.

Vorgetragen auf der Hochdrucktagung des Vereines deutscher Ingenieure in Berlin am 18. Januar 1924.

Die neuzeitliche Kesselfabrik — Prüfen, Hobeln und Biegen der Bleche — Zusammenbauen und Nieten der Kessel — Bau von Höchstdruckkesseln.

Die meisten Leser werden sich wohl noch der Zeiten erinnern, wo der Dampfkesselbau in Deutschland eine untergeordnete Rolle spielte. Früher sah der Maschinenkonstrukteur mit einer gewissen Mißachtung auf den Kesselkonstrukteur herab. Der Kesselfabrikant trat nach außen hin kaum in Erscheinung. Für ihn lag dazu auch keine Veranlassung vor, denn er brachte wenig oder nichts Neues, sondern baute jahraus jahrein schlecht und recht seine Kessel und war froh, wenn er am Jahresende einen bescheidenen Gewinn zu verzeichnen hatte.

Viel Wissenschaft wurde im Kesselbau nicht getrieben; auch das, was auf den Hochschulen darüber gelehrt wurde, war mäßig. Erst mit der Einführung der Dampfturbine und dem Bau großer Kraftwerke gewann auch der Kesselbau allmählich größere Bedeutung. Der Kesselerzeuger betätigte sich mehr und mehr wissenschaftlich, wozu er in erster Linie durch das Emporblühen des mit dem Kesselbau unmittelbar zusammenhängenden Feuerungswesens veranlaßt wurde. Neukonstruktionen mancher Art kamen auf den Markt, der Steilrohrkessel eroberte sich das Feld, und so ist der Kesselbau einer der wichtigsten Zweige unserer Maschinenindustrie geworden.

Vor noch nicht allzulanger Zeit war die Besichtigung mancher Dampfkesselfabrik kein Genuß. Dunkle, niedrige Werkstätten voll Staub und Rauch mit meist veralteter maschineller Einrichtung waren noch häufig anzutreffen. Sie haben inzwischen fast überall neuzeitlichen, geräumigen Hallen Platz gemacht. Die alten Maschinen sind verschwunden, an ihre Stelle sind solche von höchster Leistungsfähigkeit getreten. Die Lochstanze, der Schrecken aller Revisionsingenieure, ist in den Schrott gewandert.

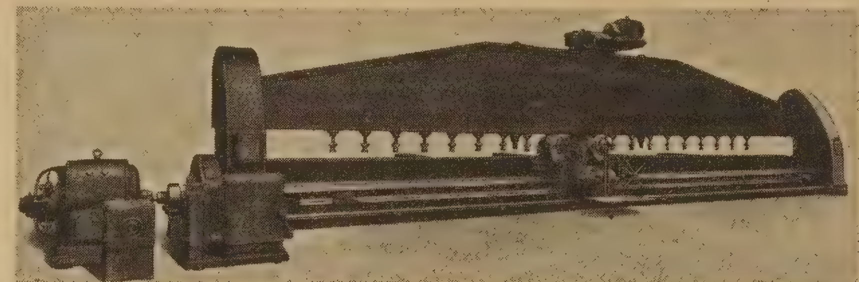
Erstklassige, maschinelle Einrichtungen allein haben aber nicht verhüten können, daß unter dem Einfluß des Krieges und der Revolution folgenschwere Fehler beim Bau von Dampfkesseln unterlaufen sind. Viele Kesselfabrikanten haben offenbar selbst nicht gewußt, wie unsachgemäß häufig die Arbeiten in ihren Werkstätten ausgeführt wurden. Erst die Material-Prüfungsämter haben alle Sünden aufgedeckt und gezeigt, wo die Fehler liegen. Inzwischen hat sich aber ein Wandel zum Guten vollzogen. Seit einigen Jahren ist allenthalben das Bestreben vorhanden, nur das Beste zu leisten.

Die Ansprüche, die an den Kesselerbauer gestellt werden, wachsen mit steigenden Betriebsdrücken. Je höher diese sind, desto größere Sorgfalt muß man auf die Verarbeitung des Kesselbaustoffes verwenden.

Meine Aufgabe ist es, Ihnen in der kurzen mir zur Verfügung stehenden Zeit einen Einblick in die neuzeitliche Kesselherstellung zu geben und Ihnen die besten Arbeitsmethoden und Maschinen vor Augen zu führen. Bei meinen Ausführungen kann ich nicht vermeiden, manches zu erwähnen, was vielleicht allgemein bekannt ist. Dem Fachmann auf dem Gebiete des Dampfkesselbaues werde ich überhaupt nichts Neues bringen können. Ich halte mich dabei an die Richtlinien über den Bau von Dampfkesseln, welche die Vereinigung der Großkesselbesitzer mit dem Wasserrohrkessel-Verband vereinbart hat.

Jedes Blech wird nach dem Eingang besichtigt; nach Gutbefund erfolgt das Anzeichnen. Es empfiehlt sich, für die Auffindung von Fehlern Prämien auszusetzen. Darauf werden die Heftlöcher gebohrt. Ihr Durchmesser wird mindestens 3 mm kleiner als der der Nietlöcher gewählt. Der Abstand der Heftlöcher muß so gering sein, daß die Bleche beim Zusammenbau nicht federn, sondern satt aufeinanderliegen.

Sodann werden die Kanten der Bleche a b g e h o b e l t, und zwar so weit, daß der Einfluß des Scherenschnittes wegfällt. Abb. 1 bis 3 zeigen eine Blechkantenhobelmaschine, Bauart Froriep, mit elektrisch angetriebener Feststellvorrichtung. Auf dem Spannträger ist ein umsteuerbarer Motor von 6 bis 8 PS angeordnet, der mittels Schnecke und Schneckenrades eine in der Mitte des Spannträgers innerhalb der Wände gelagerte starke senkrechte Spindel mit Flachgewinde antreibt. Die Mutter auf dieser Spindel trägt die Drehachse eines als Wagebalken wirkenden Hebels, an dessen Enden Zugstangen zu zwei ungleicharmigen Hebeln führen. Die kürzeren Arme dieser Hebel bewegen mittels Druckstelzen die beiden Spannstempel, die zum Vorspannen des Bleches dienen und in einem bestimmten Abstand von der Trägermitte angreifen. Beim Einrücken des Motors in einer Richtung bewegt sich die Spindelmutter nach oben, und die Vorspannstempel legen sich auf das Blech und pressen es fest auf den Tisch. Hierbei steigt der Anpreßdruck schnell an und gleichzeitig auch die Leistung des Spannmotors. Hat dieser seine höchste Leistung erreicht, so wird er durch Ausfallen eines Höchststromausschalters plötzlich stillgesetzt. Durch den eingebauten Wagebalkenhebel wird der Druck auf beide Spannstempel gleichmäßig verteilt, und durch den genau einstellbaren Ausschalter wird stets der gleiche Druck erreicht. Nun werden die Handstempel leicht auf das Blech aufgelegt, worauf man den Spannmotor mit umgekehrtem Drehsinn wieder einschaltet und dadurch die beiden Vorspannstempel wieder



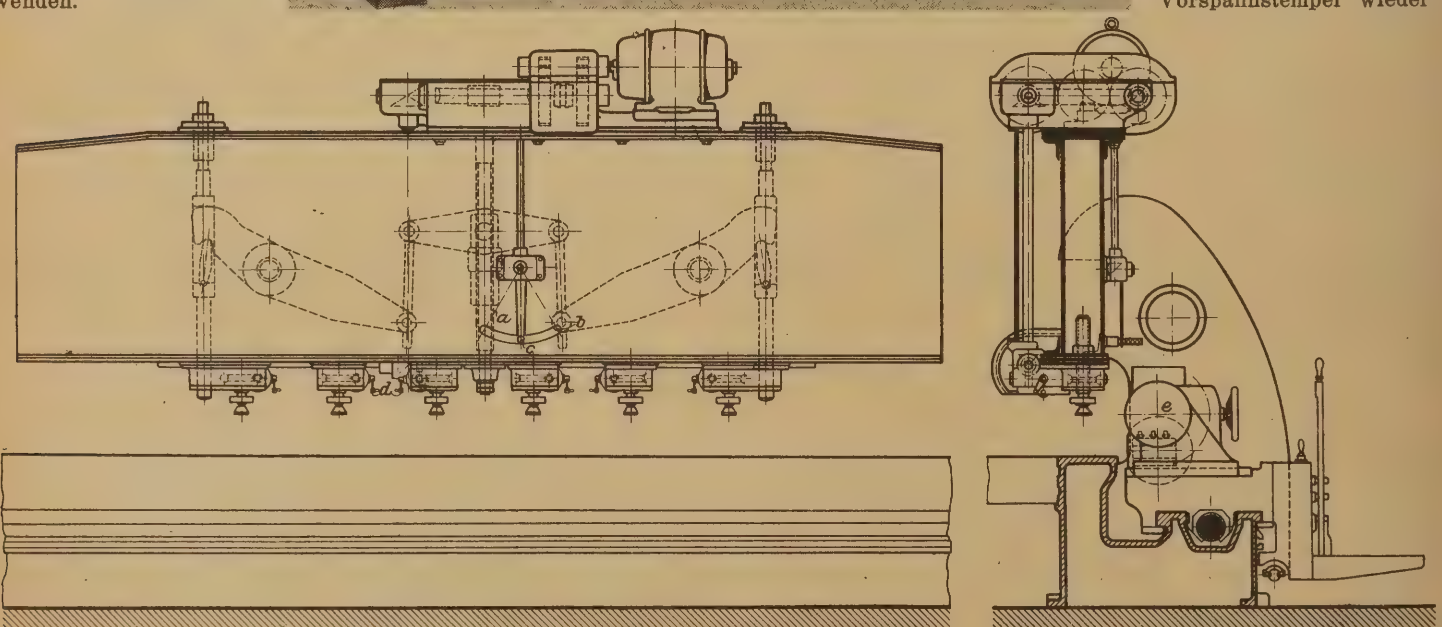


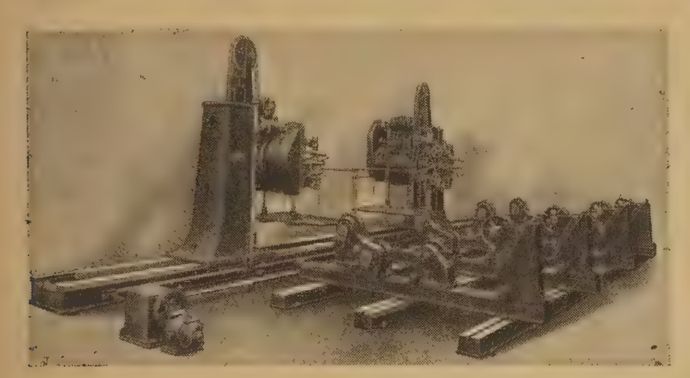
Abb. 1 bis 3. Blechkanten-Hobelmaschine von Otto Froriep G. m. b. H. in Rheydt.

hochzieht. Der Spanndruck, den bisher nur die beiden Vorspannstempel ausübten, verteilt sich hierbei auf alle Spannstempel, und die Hobelarbeit kann beginnen. Beim Losspannen der Bleche wickelt sich der Vorgang umgekehrt ab. Zunächst werden die beiden Vorspannstempel wieder angestellt, wobei die übrigen Spannstempel entlastet werden, so daß man sie leicht einzeln oder maschinell gemeinsam anheben kann. Hierauf zieht man die Vorspannstempel zurück und das Blech ist gelöst.

Man hat andere Spannvorrichtungen für Blechkantenhobelmaschinen entworfen, bei denen alle Stempel gleichzeitig durch einen Motor bewegt und angedrückt werden und der Spanndruck durch Ausrücken einer unter Federdruck stehenden Kupplung für jeden Stempel geregelt wird. Diese Vorrichtungen müssen als Federdruck-Spannvorrichtungen und nicht als elektrische Spannvorrichtungen bezeichnet werden, auch wenn der Antrieb durch Motor erfolgt, da nicht die elektrische Energie, sondern die Federspannung den Anpreßdruck bestimmt.

man Dorne verwendet, die nicht dicker als der Durchmesser des Nietloches sind.

Der zusammengebaute mit Schrauben geheftete Kessel kommt nunmehr unter die Bohrmaschine zum Bohren der Nietlöcher. Dazu werden meistens Radial-Bohrmaschinen verwendet. Zu den besten und bekanntesten Radial-Bohrmaschinen gehören die von der Raboma-Maschinenfabrik in Berlin, die in ihrer Handhabung sehr einfach sind. Am wirtschaftlichsten sind die mit unmittelbarem Antrieb durch stehende Elektromotoren. Nach Angabe der Erbauer kann man mit einer derartigen Maschine in 50 Minuten 100 Löcher von 25 mm Dmr. in Flußeisen von 25 mm Stärke bohren, Abb. 4. Bei dem neuzeitlichen Flußeisen von 25 mm Maschinenfabrik Froriep in Rheydt, Abb. 5, ist das ganze



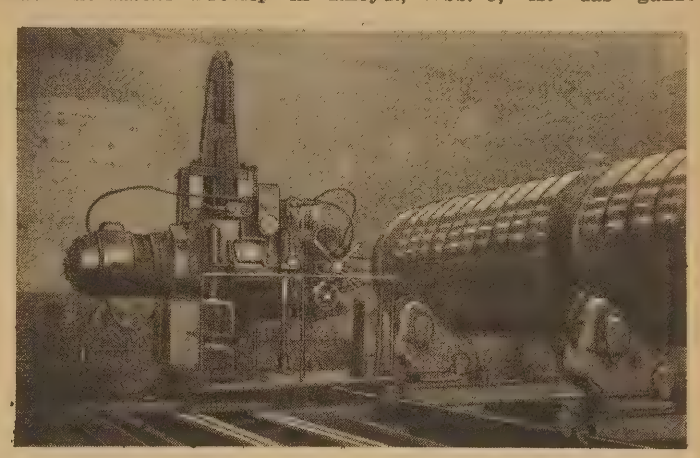


Abb. 4 und 5. Kesselbohrwerke von Otto Froriep G. m. b. H. in Rheydt.

Nach dem Hobeln der Blechkanten erfolgt das Biegen des Bleches. Bei diesem Arbeitsvorgang läßt sich eine ungünstige Beanspruchung des Bleches nicht vermeiden. Meistens dient zum Biegen eine Dreiwalzen-Maschine. Die beiden Enden der Bleche werden aber darin nicht mit gebogen; sie bleiben also gerade und müssen deshalb vorher angebogen werden. Dies geschieht in der Regel in einer hydraulischen Vorbiegepresse, die aber die Bleche nur stückweise anbiegt. Dabei entsteht jedesmal am Ende des vorgebogenen Stückes ein Knick. Diese Art des Vorbiegens kann zu einer Schädigung des Bleches führen. Es empfiehlt sich, nur solche Biegemaschinen zu verwenden, in denen das Blech in seiner ganzen Breite auf einmal vorgebogen wird. Hierfür kommen in erster Linie die hydraulischen Blechbiegepressen in Betracht, die eine in jeder Beziehung einwandfreie Arbeit liefern. Bei der hydraulischen Blechbiegemaschine werden unzulässige Biegungsbeanspruchungen vermieden. Das ist von höchster Wichtigkeit, weil gerade die Blechkanten, welche die Nietnähte aufzunehmen haben, im Betrieb den höchsten Beanspruchungen ausgesetzt sind. Die ganze Maschine ist aus Stahlguß und Schmiedestahl hergestellt. Das Biegen erfolgt durch zwei Balken, von denen der eine feststeht, während der andere durch einen hydraulischen Zylinder mittels zweier Rollenpaare parallel zum ersten verschoben wird. Von diesen beiden Biegebalken bildet der bewegliche die Form, in welche das Blech durch den anderen Balken hineingepreßt wird, wodurch es die verlangte Biegung erhält. Durch eine einstellbare selbsttätig wirkende Vorrichtung kann der Hub des beweglichen Preßbalkens in gewissen Grenzen verändert werden, wodurch man verschieden starke Krümmungen des Bleches erreicht. Der Vorschub des Bleches erfolgt ebenfalls selbsttätig. Eine Handsteuerung ermöglicht ferner, das Blech beliebig vor oder zurück zu schieben.

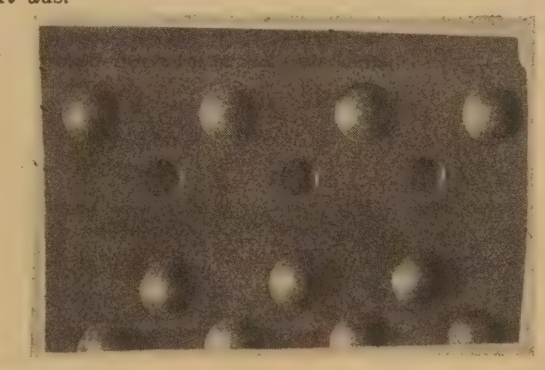
Über die Möglichkeit, eine Vierwalzen-Biegemaschine zum Anbiegen von Blechenden zu verwenden, bestehen vielfach falsche Ansichten. Mit einer Vierwalzen-Biegemaschine kann man zwar ein Blech bis auf einen bedeutend kürzeren Abstand vom Rande biegen, als mit einer Dreiwalzen-Biegemaschine möglich ist, doch bleiben auch bei Vierwalzen-Biegemaschinen zu lange Blechenden. Man kann also damit nicht den bei der Kesselfabrikation gestellten Ansprüchen genügen.

Nachdem die abgedrehten Kesselböden mit Heftlöchern versehen und die Innen- und Außenlaschen hergerichtet sind, erfolgt der Zusammenbau des Kessels. Es empfiehlt sich, die Laschen nicht auf Maß zu bestellen, sondern sie aus einem großen Blech herauszuschneiden, das zuvor auf den erforderlichen Halbkreis gebogen wurde. Man hat dann die Sicherheit, daß die Laschen satt anliegen. Biegt man jede einzelne Lasche für sich, so ist es viel schwieriger, den Halbkreis genau einzuhalten. Die Folge davon ist, daß die Lasche klafft.

Das Ausschärfen der Lasche geschieht vielfach noch unter dem Hammer. Es ist besser, die Warmbehandlung zu vermeiden und die Laschen abzuhobeln oder zu fräsen.

Beim Zusammenbau der Kessel läßt sich das mit Recht verpönte Dornen nicht vermeiden. Es ist aber unschädlich, wenn

Bohrgehäuse maschinell verstellbar, so daß man wagerecht oder senkrecht bohren kann. Im Bohrgehäuse sind drei Bohrspindeln angebracht, wovon die mittlere feststeht, während sich die beiden äußeren radial zum Kessel einstellen lassen. Die Maschine ist also zum Bohren von Nietlöchern in Rund- und Längsnähten geeignet. Der Kessel ist auf einer Rollenbahn drehbar gelagert, die von einem Motor angetrieben wird. Alle Bewegungen der Maschine leitet der Arbeiter von seinem Standort aus.



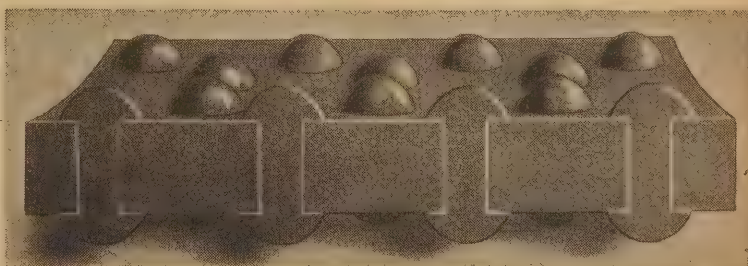


Abb. 6 und 7. Nietnähte, mit 7500 kg/cm² hergestellt.

Nach dem Bohren wird der Kessel wieder vollständig auseinander genommen und der Bohrgrat entfernt. Die aufeinanderliegenden Flächen werden gründlich von Bohrspänen gereinigt und mit Schmirgelscheiben gesäubert. Dieses Verfahren ist nicht allgemein üblich. Ich halte es aber für sehr vorteilhaft.

Nun werden die Nietlöcher zweckmäßig mit elektrischen oder mit Preßluftbohrmaschinen versenkt, die als Werkzeug einen sogenannten Krauskopf tragen. Das Versenken soll dort, wo sich die Bleche berühren, nicht so tief erfolgen, wie an den Außenflächen, damit der Nietschaft nicht zu stark zwischen die Bleche gedrückt wird.

Nunmehr wird der Kessel erneut zusammengebaut und zum Nieten vorbereitet. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß

alle Bleche satt aufeinanderliegen und keine Zwischenräume bilden. Sämtliche Nietlöcher werden etwa ½ mm aufgerieben. Das Einpassen der Kesselböden erfolgt in der Regel so, daß man den Kesselmantel stückweise erwärmt und an den Boden bei richtet. In geschweißte und nahtlose Trommeln werden die Böden meist kalt eingesetzt, nachdem man sie vorher auf ein bestimmtes Maß abgedreht hat. Der Kesselmantel wird im Innern entsprechend der Breite des Bordrandes des Bodens ausgedreht. Dann beginnt das Nieten, der wichtigste Vorgang im Kesselbau. Man verwendet vorwiegend hydraulische Nietmaschinen, pneumatische haben sich nicht eingeführt.

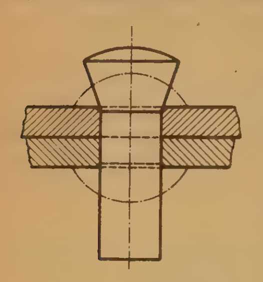
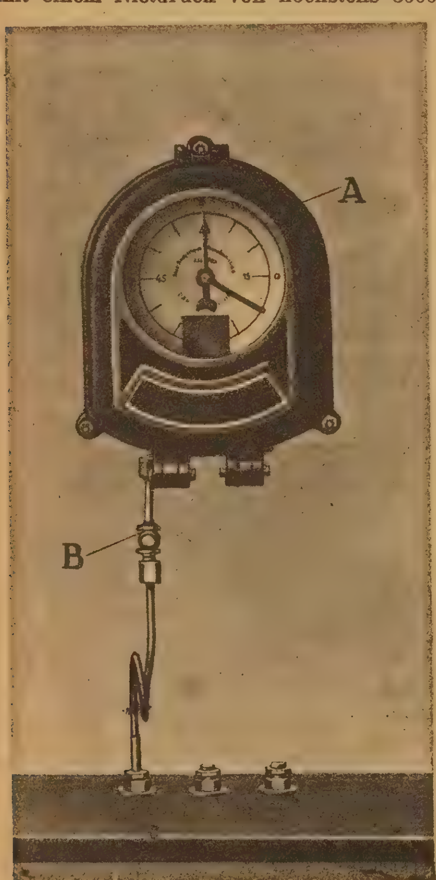


Abb. 8. Stiftniet.

Plattenpresser zum Zusammendrücken der Bleche sollte man nach Möglichkeit vermeiden. Werden sie verwendet, so soll man sie durch besonderen Akkumulatorendruck betreiben, damit keine Beschädigung der Bleche eintritt. Der vom Akkumulator auf den Plattenpresser ausgeübte Druck ist besonders festzustellen.

Das Nieten ist deshalb ein so wichtiger Vorgang, weil die Kesselschäden gezeigt haben, welche Zerstörungen zu hoher Nietdruck verursachen kann. Das Aufreißen von Nietnähten ist in erster Linie darauf zurückzuführen. Die tiefen Eindrücke des Nietkopfes in das Blech leiten die Entstehung der Risse ein.

Die Höhe des geeigneten Nietdruckes war lange Zeit umstritten. Ich war mit fast allen Kesselfabrikanten früher der Ansicht, daß die Versuche von Bach und Baumann[1]) für die Praxis keine Bedeutung haben und man mit einem Nietdruck von höchstens 8000 kg auf 1 cm² Nietquer-



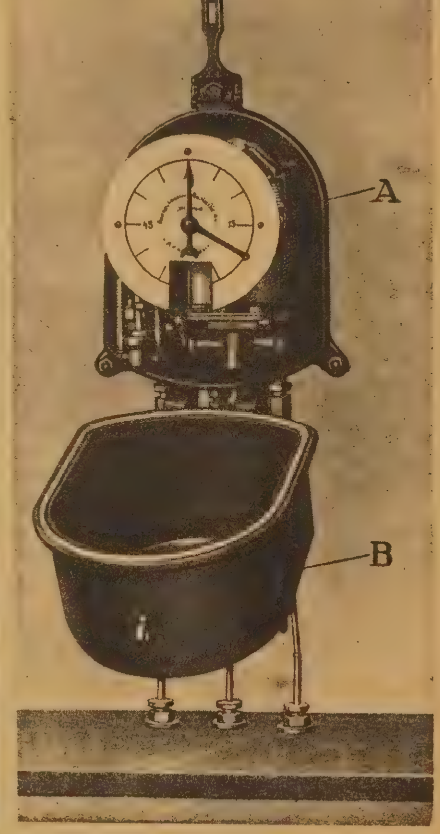


Abb. 9 und 10. Schuchscher Nietenkontrollapparat.

Man hat vielfach angeregt, das Schuchsche Stiftnietver-
schnitt nicht auskommt. Ich darf wohl, ohne unbescheiden zu sein, darauf hinweisen, daß ich zuerst die Richtigkeit der Bach-Baumannschen Werte im praktischen Kesselbau nachgewiesen habe, denn ich lasse seit einigen Jahren mit Drücken zwischen 7100 und 7850 kg/cm² nieten, die also noch unter der von Bach und Baumann angegebenen Höchstgrenze liegen. Es ist noch ungeklärt, ob eine mäßige Überschreitung des Nietdruckes von 8000 kg/cm² eine Schädigung der Bleche herbeiführt. Versuche darüber werden im Auftrage der Dampfkessel-Verbände unter Aufsicht des Herrn v. Bach ausgeführt.

Abb. 6 und 7 stellen eine mit 7500 kg/cm² genietete Naht dar. Blecheindrücke sind nicht zu erkennen.

[1]) s. Z. Bd. 56 (1912) S. 1890

fahren anzuwenden, wobei das Verstemmen der Nieten vermieden werden kann. Das Schuchsche Stiftnietverfahren setzt normale Kesselschmiedearbeit voraus und soll sich mit jeder in Ordnung befindlichen Nietanlage durchführen lassen. Man erwärmt die Nieten zweckmäßig in einem Ofen, der die Nieten auf der ganzen Länge gleichmäßig erhitzt, ohne daß das Nieteisen schädlich beeinflußt wird. Das Verfahren besteht in der Anwendung des Schuchschen Stiftnietes unter Verwendung eines Nietkontrollers bei Einhaltung gewisser Vorschriften bezüglich der Höhe des zulässigen spezifischen Nietdruckes und der Dauer der Schließzeit. Der Stiftniet, Abb. 8, wird von außen in das Nietloch gesteckt, worauf beide Köpfe gleichmäßig angepreßt werden. Das Loch wird vollständig mit Nietmaterial ausgefüllt, wenn mit dem richtigen Druck und der richtigen Schließzeit — etwa 1 Sekunde für je 1 mm Nietdurchmesser — genietet wird, und

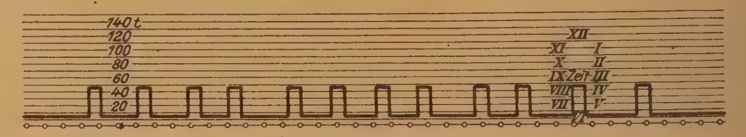


Abb. 11. Nietkontroll-Diagramm.

dabei sollen die Nieten dicht halten, ohne verstemmt zu werden. Im Lokomotiv-Kesselbau ist man mit den Ergebnissen des Schuchschen Verfahrens sehr zufrieden. Die Versuche, die ich ausführen ließ, hatten nicht den gewünschten Erfolg; sie sollen aber fortgesetzt werden. Die Nieten und Bleche dürfen nicht durch Wasser gekühlt werden.

Besonders wichtig ist eine gute Nietkontrolle. Nach meinen Erfahrungen hat sich hierfür der Schuchsche Nietkontrollapparat Abb. 9 und 10, vorzüglich bewährt. Der Nietvorgang wird vom Nietkontroller graphisch aufgenommen. Er besteht aus einer Grundplatte *A* und einem Gehäuse *B*. Auf die Grundplatte *A* sind ein Indikator, ein Uhrwerk und eine Schreibvorrichtung aufgesetzt, welche zusammen gestatten, den Nietvorgang durch ein Diagramm darzustellen, wobei die Ordinaten der Diagramme dem Schließdruck und die Abszissen der Dauer der Schließzeit entsprechen. Ein Sekundenzeiger setzt sich jedesmal bei Beginn des Nietens in Bewegung. Der Arbeiter hält die Maschine so lange geschlossen, bis der Sekundenzeiger einen zweiten vorher eingestellten Schleppzeiger erreicht. Der Nietkontroller arbeitet



Abb. 12. Kreisdöpper.



Abb. 13. Nahtloser Kessel von Krupp.

selbsttätig und bedarf keiner besonderen Wartung. Die Diagramme, Abb. 11 werden mit der Auftragnummer versehen, damit man auch nachträglich nachweisen kann, daß das Nieten ordnungsmäßig erfolgt ist.

Der letzte Boden wird mit Preßluft oder mit der Hand eingenietet. Man macht häufig die Beobachtung, daß die Nietköpfe einseitig sitzen. Besonders bei der Preßluftnietung kommt es oft vor, daß der vorstehende Nietschaft mit dem Hammer zur Seite gedrückt und ein einseitig sitzender Kopf gebildet wird. Um sicher zu sein, daß die Nietköpfe einen gleichmäßigen Abstand vom Nietschaft haben, empfiehlt es sich, den Abstand des Nietkopfes vom Lochrand anzuzeichnen. Dazu dient ein eigens zu diesem Zweck angefertigter Stempel (Kreisdöpper), Abb. 12, der in jedes Nietloch eingeführt wird. Durch einen Hammerschlag auf diesen Stempel wird der Kreis um das Nietloch angedeutet.

Das Verstemmen der Nietköpfe und Nähte erfolgt mit Hand- oder mit Preßluftwerkzeugen. Dabei muß darauf geachtet werden, daß keine Beschädigung des Bleches durch tiefe Einkerbungen eintritt. Nach dem Verstemmen werden die Kessel einer Wasserdruckprobe unterzogen, bei Steilrohrkesseln werden dann die Rohrlöcher gebohrt.

Endlich werden die einzelnen Kesselteile zusammengepaßt. Dies geschieht bei den verschiedenen Kesselsystemen auf verschiedene Art. Beim Wasserkammerkessel müssen die Kammern aufmontiert und ausgerichtet und die Kammerhälse an die Oberkessel angepaßt werden. Bei einigen Steilrohrkessel-Bauarten werden Verbindungsstutzen aufgebaut und beigerichtet und die Stutzen für die Armaturen angebracht. Das Beirichten darf nicht in Blauwärme erfolgen und soll stets unter Aufsicht geschehen, weil es sehr schwer ist, dem Arbeiter die Gefahr klar zu machen, die in unsachgemäßer Wärmebehandlung liegt. Häufige Risse an den Verbindungsstutzen und deren Krempen werden fast immer auf die starre Konstruktion des Kessels zurückgeführt, ihre Ursache ist aber hauptsächlich falsche Wärmebehandlung beim Beirichten.

Ich habe Ihnen hiermit den Bau normaler Kessel geschildert, wie sie bis heute vorwiegend verwendet werden.

Beim Bau von Höchstdruckkesseln entsteht die Frage: Wo liegt die Grenze für genietete und für geschweißte Kessel? Die Verwendungsmöglichkeit beider richtet sich nach der Blechstärke und diese wiederum nach dem Kesseldurchmesser. Ich setze die Grenze für genietete und geschweißte Kessel gleich, denn nach meiner Auffassung sollte man keine Nähte mehr schweißen, wenn man nicht mehr wagt, sie zu nieten. Man unterscheidet vier verschiedene Schweißverfahren: die Wassergasschweißung, die Schweißung im Koksfeuer, die autogene Schweißung und die elektrische Schweißung. Von diesen Verfahren kommt für die Herstellung von Kesseltrommeln nur die Wassergasschweißung in Betracht. Hierbei können Überlappungsschweißungen und Keilschweißungen, aber keine Stumpfschweißungen ausgeführt werden. Die Überlappungsschweißung ist unstreitig die beste und hat sich in jahrelangem Betriebe gut bewährt. Die Freunde der Wassergasschweißung empfehlen sie deshalb auch für Höchstdruckkessel, und zwar ohne Verwendung von Sicherheitlachen. Diese Kreise haben sicher kein Bedenken, Bleche von 55 bis 60 mm Stärke zu schweißen, die je nach dem Kesseldurchmesser für Betriebsdrücke von 60 at und darüber ausreichen. Man hat sogar Bleche von 80 mm Stärke geschweißt und glaubt auch, bei geschweißten Nähten höhere Betriebsdrücke als bei genieteten zulassen zu können, weil man geschweißte Kessel sorgfältig ausglühen kann, was bei genieteten unmöglich ist. Es läßt sich aber nicht von der Hand weisen, daß das Schweißen ein individueller Vorgang ist, man ist also dabei ganz und gar auf die Zuverlässigkeit der Arbeiter angewiesen. Die Firma Thyssen & Co. hat Versuche über die Prüfung geschweißter Trommeln eingeleitet. Durch Wasserdruckprobe werden hierbei die Trommeln über die Streckgrenze hinaus beansprucht und hinterher vergütet, so daß das Material seine ursprünglichen Eigenschaften wieder erhält. Es muß abgewartet werden, ob derartige Kessel für Höchstdrücke verwendet werden können.

Bei Kesseldurchmessern von 1500 mm nehme ich als größte Blechstärke bei 2½reihiger Doppellaschen-Zickzacknietung 31 mm an. Man erhält dabei eine Schaftlänge des Nietes von 78 mm bei 34 mm Dmr. Der Kessel reicht für einen Betriebsdruck von 30 at. Bei 1200 mm Kesseldurchmesser und 31,5 mm Blechstärke kann man einen Betriebsdruck von 38,5 at zulassen. Es ist mir bekannt, daß manche Kesselerzeuger noch Bleche von 40 mm Stärke nieten. Nach den Erfahrungen der letzten Jahre und den umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Blechherstellung ist aber größte Vorsicht geboten.

Die denkbar größte Betriebsicherheit bieten die nahtlos gewalzten oder geschmiedeten Ober- und Unterkessel. Die Preß- und Walzwerk-A.-G. in Düsseldorf-Reisholz stellt diese nahtlos gewalzten Zylinder bis zu einer Länge von 3200 mm her; darüber hinaus liefert sie sie in geschmiedeter Ausführung. Der erhebliche Materialabfall, der hierbei entsteht, macht die Herstellung teurer als die der genieteten und geschweißten Kessel.

Bei dieser Art nahtloser Trommeln, die geschmiedet auch die Fried. Krupp A.-G. liefert, müssen die Böden eingenietet werden. Hierbei braucht man nicht so ängstlich zu sein, wie beim Nieten von Längsnähten, weil die Rundnähte bedeutend geringeren Beanspruchungen ausgesetzt sind. Ich habe keine Bedenken, die Böden bis zu einer Mantelstärke von 40 mm einzunieten. Diese sind auch leicht zugänglich. Etwaige Undichtigkeiten können deshalb bequem beseitigt werden. Damit die Nieten keine zu große Schaftlänge erhalten, verwendet man zweckmäßig Kesselböden von elliptischer Form, deren Wandstärke nach den Versuchen, die v. Bach im vergangenen Jahr angestellt hat, bedeutend dünner gewählt werden kann.

Werden Betriebsdrücke verlangt, bei welchen das Einnieten der Böden nicht mehr ratsam scheint, so kommen nur nahtlose, aus einem Stück bestehende Kessel in Betracht, Abb. 13, die nach einem besonderen Verfahren der Fried. Krupp A.-G. hergestellt sind. Der Materialersparnis wegen empfiehlt es sich, derartige Kessel aus einem besondern Nickelstahl von 42 bis 50 kg/mm² Festigkeit und 24 bis 20 vH Dehnung anzufertigen. Bei diesem Material ermäßigt sich bei dem oben erwähnten Kesseldurchmesser die Blechstärke um 12 mm bei einer Festigkeit von 45 kg/mm². Bei 100 at und Nickelstahl von 45 kg/mm² Festigkeit ergibt sich bei einem Kesseldurchmesser von 1000 mm eine Blechstärke von 65,5 mm, bei Flußeisen von 36 kg/cm² hingegen eine Blechstärke von 81 mm.

Die gesetzlichen Bestimmungen über den Bau von Landdampfkesseln müssen hierfür allerdings abgeändert werden, weil sie vorläufig die Verwendung eines Baustoffes von so hoher Festigkeit nicht gestatten.

Die besten Maschinen und noch so fein ausgeklügelte Bauvorschriften haben keinen Wert, wenn nicht jeder Betriebsbeamte und Arbeiter in der Kesselschmiede von der Notwendigkeit erstklassiger Arbeit überzeugt ist. Er muß die Gefahren erkennen, die durch eine unsachgemäße Behandlung des Baustoffes entstehen können; er muß dazu erzogen werden, nur Arbeit zu leisten, die das Licht nicht zu scheuen braucht. Eine strenge und umfangreiche Werkstattkontrolle ist unbedingtes Erfordernis. Betriebsleiter und Meister können nicht überall zugegen sein. Deshalb müssen in langjähriger Praxis erfahrene Beamte, die über dem Meister stehen, also nur dem Betriebsleiter unterstellt sind, jede Arbeit, vom Anzeichnen der Bleche bis zum Versand, prüfen; sie müssen sich davon überzeugen, daß die Richtlinien für den Bau der Kessel strengstens befolgt werden. Ich gehe in der Kontrolle so weit, daß ich jedes Nietloch mit einem Taster untersuchen lasse, der aus einem papierdünnen, oben umgebogenen Blech besteht. Zeigt sich, daß dieser Taster an der Stelle hängen bleibt, wo die Bleche aufeinanderliegen sollen, so muß der dort vorhandene Spalt durch erneutes Zusammenziehen der Bleche beseitigt werden.

Die Bauüberwachung — sei es durch einen Dampfkessel-Überwachungsverein oder durch einen Ingenieur des Auftraggebers — darf vom Kesselerzeuger nicht als Belästigung oder gar als Mißtrauen aufgefaßt werden. Nach meinen Erfahrungen wirkt sie erzieherisch auf Betriebsbeamte und Arbeiter.

Von größter Wichtigkeit ist auch die Blechabnahme. Die zurzeit noch gültigen Vorschriften sind unhaltbar, darüber sind wir uns wohl alle einig. Die Werkatteste müssen fallen. Die Prüfung der Bleche sollte durch unabhängige Sachverständige geschehen. Ich will nicht untersuchen, welche Abnahmeart die beste ist. Zweifellos hat die Studienprobe große Vorzüge. Es war deutlich wahrzunehmen, daß die vielen hundert mit Studienprobe abgenommenen Bleche, die in meinem Werk verarbeitet wurden, eine ganz hervorragende Beschaffenheit hatten. Es leuchtet aber ohne weiteres ein, daß so umfangreiche und teure Prüfungen der Bleche, wie die Studienprobe, allgemein nicht eingeführt werden können. Die Lieferung des Materials würde sich viel zu stark verzögern, abgesehen davon, daß die Herstellung zu teuer würde.

Die augenblickliche Geschäftslage erfordert aber einen Preisabbau. Wir müssen bestrebt sein, nicht nur wieder auf die Weltmarktpreise zu kommen, sondern noch darunter zu bleiben, sonst ist kein Wiederaufbau möglich. Man muß daher einen Weg für die Abnahme der Bleche suchen, der Gewähr für einwandfreies Material gibt, ohne daß er die Blechpreise nennenswert verteuert.

Zur Theorie der Diesellokomotive.

Von Prof. G. Lomonossoff.

Während bei der Dampflokomotive die Zugkraft durch das Reibungsgewicht, die Zylinder und den Kessel begrenzt wird, tritt bei der Diesellokomotive an die Stelle der Zylinder das Übersetzungsverhältnis zwischen Motor und Treibrädern und an die Stelle des Kessels die Leistungsfähigkeit des Motors. Der Einfluß dieser Größen wird erörtert und durch Formeln festgelegt.

Die erste Diesellokomotive für die russischen Eisenbahnen ist fertiggestellt worden. Ihre Leistung und Zugkraft entspricht denen der E-Dampflokomotiven, die in Schweden und Deutschland für Rußland gebaut worden sind. Im Dezember sollten schon die Versuche an der Diesellokomotive beginnen, während die Literatur der ganzen Welt noch fast kein Material zur Theorie solcher Lokomotiven aufweist. Daher glaubt der Verfasser, daß es zeitgemäß ist, die theoretischen Voraussetzungen zu veröffentlichen, die als Grundlage bei den Versuchen an den Diesellokomotiven dienen sollen. Je mehr diese Zeilen Kritik hervorrufen, desto besser ist es: die Wahrheit wird geschmiedet unter den Schlägen der einander kreuzenden gegenseitigen Meinungen.

Um Irrtümer zu vermeiden, muß von Anfang an festgestellt werden, daß es sich um D i e s e l l o k o m o t i v e n handelt, das heißt um solche Lokomotiven, bei denen als Arbeitsquelle ein Dieselmotor dient, dessen Hauptwelle in der Längsrichtung des Gleises liegt und mit den Treibachsen mittels einer besonderen Übertragung verbunden ist. Diese Übertragung kann eine mechanische, hydraulische, pneumatische, elektrische oder andre sein. Gerade das Vorhandensein dieser Übertragung und das Fehlen eines Kessels bedingt einen grundsätzlichen Unterschied in den Theorien der Dampflokomotive und der Diesellokomotive. Thermolokomotiven, die Zylinder der üblichen Dampflokomotiven haben, wie z. B. nach den Vorschlägen von Still, Schelest, Masing u. a., stehen ihrer Theorie nach den Dampflokomotiven näher als den Diesellokomotiven; denn bei diesen T h e r m o l o k o m o t i v e n sind die Kolben wie bei den Dampflokomotiven mit den Achsen durch Treibstangen verbunden.

Die Grundbegriffe der Zugkraft.

Bei Dampflokomotiven werden drei Arten von Zugkraft unterschieden: die indizierte Zugkraft, die Zugkraft am Umfange der Treibräder und die am Zughaken. Diese Begriffe sind ohne weiteres auf die Diesellokomotiven übertragbar. Wir müssen nur klar festlegen, was man unter diesen Begriffen verstehen soll. Der klarste dieser Begriffe, die Zugkraft am Haken Z_e, ist die mittels des Dynamometers gemessene Kraft; bedeutend schwieriger ist die Bestimmung der Zugkraft Z_r am Umfange der Treibräder; sie kann nicht unmittelbar gemessen werden, dabei ist sie theoretisch am wichtigsten, erstens weil am Umfange der Treibräder die Reibung zwischen Rad und Schiene auftritt, und zweitens weil gerade die Arbeit am Umfange der Treibräder von rein mechanischem Standpunkt aus die eigentlich wirksame Arbeit der Lokomotive darstellt. D i e Z u g k r a f t a m U m f a n g e d e r T r e i b r ä d e r i s t d e r M i t t e l w e r t d e r S u m m e d e r T a n g e n t i a l k r ä f t e $\sum Z$ w ä h r e n d e i n e r U m d r e h u n g, d. h.

$$Z_r = \frac{1}{\pi D}\int_0^{\pi D} \sum Z \, ds \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Die Leistung am Umfange der Treibräder beträgt

$$N_r = \frac{Z_r V}{270} \, \text{PS} \quad . \quad . \quad . \quad (2),$$

worin V die Geschwindigkeit in km/h bedeutet. Die indizierte Leistung N_i, d. h. die Anzahl der Pferdestärken, die in den Zylindern der Dampflokomotive oder des Dieselmotors geleistet wird, ist größer als N_r, und zwar ist

$$N_r = \eta N_i,$$

worin η der mechanische Wirkungsgrad oder der Wirkungsgrad der Übertragung ist. In der Dampflokomotive wird die Höhe dieses Wirkungsgrades bestimmt durch die innere Reibung der Steuerung und des Triebwerkes, bei der Diesellokomotive kommt außer der inneren Reibung des Dieselmotors noch der Widerstand der Übertragung hinzu. Infolgedessen kann man im voraus sagen, daß bei der Diesellokomotive der Wirkungsgrad η kleiner sein wird als bei einer Dampflokomotive.

Da $N_i = \frac{Z_i V}{270}$ ist, so wird

$$Z_r = \eta Z_i \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

worin Z_i die indizierte Zugkraft ist. Diese Gleichung ergibt die Möglichkeit, für Z_i auch bei der Diesellokomotive eine gleichlautende Erklärung wie bei der Dampflokomotive anzugeben: d i e i n d i z i e r t e i s t d i e j e n i g e Z u g k r a f t a m U m f a n g e d e r T r e i b r ä d e r, d i e a u f t r e t e n w ü r d e, w e n n d i e Ü b e r t r a g u n g k e i n e R e i b u n g s v e r l u s t e a u f w i e s e.

In der Praxis sind für die Zugkraft drei Einflüsse maßgebend, unabhängig davon, wie sie gemeint ist: Reibung, Zylinder und Kessel. Bei Diesellokomotiven fehlt der Kessel, an dessen Stelle als Energiequelle der Dieselmotor tritt. Grundsätzlich wird dadurch nichts geändert. Wie die Dampflokomotive nicht mehr Dampf verbrauchen kann, als der Kessel hergibt, so kann auch bei einer Diesellokomotive auf die Treibräder nicht mehr Arbeit übertragen werden, als der Dieselmotor liefert. Infolgedessen können wir bei geringer Änderung des Satzes sagen, daß die die Zugkraft bestimmenden Einflüsse bei Dampflokomotiven und bei Diesellokomotiven die gleichen sind: Reibung, Zylinder und Arbeitsquelle.

Es besteht jedoch zwischen den Dampflokomotiven und den Diesellokomotiven ein großer Unterschied in der Art der Anpaßfähigkeit des zuletzt genannten Einflusses, der Arbeitsquelle. Bei der Dampflokomotive ist dieser Einfluß sehr dehnbar; man kann längere Zeit hindurch auf Kosten des Sinkens des Wasserstandes im Kessel mehr Dampf herausholen, als er entwickelt. Bei der Diesellokomotive ist dieser Einfluß gänzlich starr; man kann aus dem Dieselmotor nicht mehr Pferdestärken herausholen, als er in dem gegebenen Augenblick leistet. Mit andern Worten: bei einem Kessel kann man Energie leihweise herausholen, bei einem Dieselmotor nicht.

Die Zugkraft aus dem Reibungsgewicht.

Damit Schleudern verhindert wird, muß für jedes Treibrad die Tangentialkraft

$$Z \leq \varphi z \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

sein, worin z die augenblickliche Belastung des Rades und φ die Reibungszahl zwischen dem Rad und der Schiene ist. Nach den Versuchen von Poiré (1856), die nachträglich durch die Versuche von Douglas Halton bestätigt wurden (1878), ist

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + 0{,}02\,V},$$

worin V die relative Geschwindigkeit zwischen Rad und Schiene in km/h bedeutet. In Gl. (4) muß jedoch φ durch φ_0 ersetzt werden, da beim Rollen der Berührungspunkt zwischen Rad und Schiene, an dem die Kraft Z wirkt, der Mittelpunkt ist, für den im Augenblick $V = 0$ ist. Für nasse Schienen ist auf Grund derselben Versuche $\varphi_0 = 0{,}25$, jedoch niedriger, wenn die Schienen mit welkem Laub, öligen Substanzen, Raupen usw. bedeckt sind. Diese Umstände brauchen in der Rechnung nicht berücksichtigt zu werden, um so weniger, als man als Aushilfe die Möglichkeit hat, den Wert von φ_0 mittels Sandes zu erhöhen; somit ist für jedes Treibrad

$$Z \leq 0{,}25\,z\,.$$

Bei Dampflokomotiven und denjenigen Diesellokomotiven, bei denen die Räder durch Kuppelstangen verbunden sind, hat nur folgende Bedingung wirklichen Wert:

$$\sum_r Z \leq 0{,}25 \sum_r z \quad . \quad . \quad . \quad (4),$$

worin in $\sum_r$ sämtliche Treibachsen einzubeziehen sind. Bei Diesellokomotiven jedoch, die keine Kuppelstangen haben, kann jede Achse einzeln schleudern; infolgedessen muß für alle Achsen je folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\sum_x Z \leq 0{,}25 \sum_x z \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Die Bedingungen laut Gl. (4) und (5) müssen unter allen Umständen erfüllt werden, sogar bei den ungünstigsten Verhältnissen. Die Gleichungen können infolgedessen wie folgt geschrieben werden:

$$\text{Max.} \sum_r Z \leq 0{,}25 \, \text{Min.} \sum_r z \quad . \quad . \quad . \quad (4a)$$

$$\text{Max.} \sum_x Z \leq 0{,}25 \, \text{Min.} \sum_x z \quad . \quad . \quad . \quad (5a).$$

Auf der linken Seite dieser Gleichungen erscheint nicht die Zugkraft

$$Z_r = \frac{1}{\pi D}\int_0^{\pi D} \sum_r Z \, ds$$

sondern unmittelbar die Summe der Tangentialkräfte, und zwar in Gl. (4a) für alle Treibachsen, in Gl. (5a) nur für eine Treibachse. Bei der Dampflokomotive wechselt der Wert $\sum_r Z$ ziemlich stark im Lauf einer Umdrehung des Rades, und daher wird

$$\text{Max.} \sum_r Z > \text{Max.}\, Z_r,$$

nämlich

$$\text{Max.} \sum_r Z = (1 + \mu)\, \text{Max.}\, Z_r,$$

worin μ schwankt zwischen 0,1 (Drilling) bis 0,3 (Zweizylinderverbund). Infolgedessen hat die Gleichung für die Bedingung

der Reibung für Thermolokomotiven mit Kuppelstangen und für Diesellokomotiven mit Kuppelstangen folgende Form:

$$\text{Max.}\, Z_r \leq \frac{0{,}25}{1+\mu}\, \text{Min.} \sum_r z \quad \ldots\ldots\ldots (4\text{b}).$$

Für Diesellokomotiven ohne Kuppelstangen bleibt jedoch Gl. (4a) gültig. Im Sonderfalle, bei der in Bau befindlichen Diesellokomotive mit elektrischer Übertragung, ändert sich die Tangentialkraft während einer Umdrehung nicht, so daß

$$Z_r = \sum_r Z.$$

Wenn auf alle Achsen gleiche Motoren arbeiten, so ist für jede Achse

$$\sum_r Z = \frac{1}{i} Z_r,$$

worin i die Anzahl der Treibachsen bedeutet. Im allgemeinen kann man sich vorstellen, daß die statische Belastung der Achsen nicht gleich ist, und infolgedessen werden sie von Motoren verschiedener Leistung angetrieben, und zwar desto größerer, je größer die Belastung der Achse ist. Bezeichnen wir mit Q die statische Belastung der Treibachse und durch

$$Q_r = \sum_r Q$$

das Reibungsgewicht der Lokomotive, so ist in diesem Fall

$$\frac{\sum_r Z}{Z_r} = \frac{\sum_x Q}{Q_r}.$$

Unter Berücksichtigung dessen, daß für gewöhnlich

$$\sum_x Z = 2\,Z$$

$$\sum_x Q = 2\,Q$$

$$\sum_x Z = 2\,Z = \frac{Z_r\, Q}{Q_r},$$

erhält die Reibungsbedingung einer solchen Lokomotive die Form

$$\text{Max.}\, Z_r \leq 0{,}25\, \frac{\text{Min.} \sum_x z}{2\,Q}\, Q_r \quad \ldots\ldots (5\text{b}).$$

Die dynamische Reaktion z ist nicht gleich der statischen Belastung des Rades Q, sondern es ist

$$z = Q + \varkappa f + z_k + z_0,$$

worin $\varkappa$ der Elastizitätsbeiwert der Federn in kgmm, f das Federspiel in mm ist, durch deren Multiplikation die zusätzliche Belastung der Feder erhalten wird. z_k ist die senkrechte Komponente der Kolbenkraft, d. h. der Einfluß der endlichen Länge der Treibstange, und z_0 die senkrechte Komponente der Fliehkraft des zusätzlichen Gegengewichtes. Wie bekannt, ist

$$z_k = X \operatorname{tg} \beta,$$

worin X die Kolbenkraft ist, und

$$z_0 = \frac{-r\,\omega^2}{g}\, G\,[\sin(\alpha \pm \gamma)],$$

worin G das Gewicht des zusätzlichen Gegengewichtes, r der Kurbelradius und ω die Winkelgeschwindigkeit der Räder bedeutet, Abb. 1.

Aus dem Gesagten folgt, daß für Dampflokomotiven und Thermolokomotiven mit Kuppelstangen Gl. (4) folgende Form erhält:

$$\text{Max.}\, Z_r \leq \frac{0{,}25}{1+\mu}\, \text{Min.} \left(\sum_r Q + \sum_r \varkappa f + \sum_r z_k + \sum_r z_0\right)$$

$$\sum Q = Q_r.$$

Hierin ist Q_r das Reibungsgewicht. Wird die Summierung auf sämtliche Achsen ausgedehnt, so ist

$$\sum_r \varkappa f = 0.$$

Mit andern Worten: für Dampflokomotiven und Thermolokomotiven, bei denen sämtliche Achsen gekuppelt sind, wird

$$\sum_r \varkappa f = 0.$$

Sind Laufachsen und Drehgestelle vorhanden, so ist

$$\text{Min.} \sum_r \varkappa f = -\zeta_m\, Q_r,$$

worin in Abhängigkeit von der Lage der Achsen und der Härte der Federn $\zeta = 0{,}02$ bis $0{,}20$ ist.

Für Güterzuglokomotiven wird dieser Wert nicht größer als 0,05. Diese Größe kann für jede Lokomotive leicht aus der Bedingung errechnet werden, daß sich beim Nicken der gefederte Teil des Rahmens bis zu einem Grenzwinkel schräg stellen wird, der dadurch bestimmt wird, daß bei der ersten Achse der Rahmen auf die Achsbuchse aufstößt.

Bei geringen Geschwindigkeiten ist die Größe z_k bei Vorwärtsgang immer positiv, d. h. nach unten gerichtet; dagegen wird bei großen Geschwindigkeiten infolge der Wirkung der lebendigen Kraft der mit den Kolben in Bewegung befindlichen Teile diese Größe während eines Teils der Umdrehung auch negativ. Die Reibungsgleichung hat jedoch nur bei geringen Geschwindigkeiten praktische Bedeutung, daher können wir bei solchen folgende Beziehung annehmen:

$$\text{Min.}\, z_k = 0.$$

Für Diesellokomotiven im allgemeinen ist $z_k = 0$ und $z_0 = 0$. Für Dampflokomotiven jedoch ist

$$\sum_r z_0 = \frac{-r\,\omega^2}{g} \sum_r G\,[\sin(\alpha \pm \gamma)]$$

und

$$\text{Min.} \sum_r z_0 = \frac{-r\,\omega^2}{g} \sum_r G.$$

Bei den heutigen Dampflokomotiven beträgt $\sum_r G$ 0 bis 5 vH des Reibungsgewichtes $\frac{r}{g} = {}^1/_{30}$ bis ${}^1/_{25}$. Die Winkelgeschwindigkeit ω ist $\omega = 2\,\pi\, n_s$, worin n_s die Umlaufzahl der Treibachsen in der Sekunde bedeutet. Bei $n_s = 1{,}6$ ist $\omega = 10$ und der kleinste Wert

$$\text{Min} \sum_r z_0 = -\frac{1}{25} \cdot 10 \cdot \frac{1}{20}\, Q_r = -\frac{1}{50}\, Q_r.$$

Mit andern Worten:

$$\text{Min.} \sum_r z_0 = -\zeta_0\, Q_r,$$

wobei in den Grenzen, in denen die Beschränkung der Zugkraft durch die Reibung die ausschlaggebende Rolle spielt, $\zeta_0 = 0$ bis $0{,}02$.

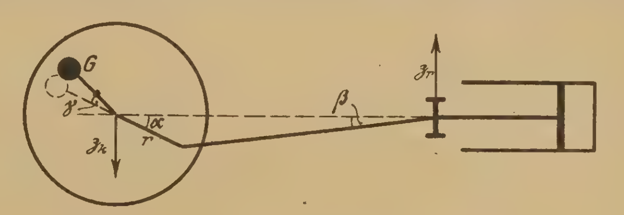


Abb. 1. Kräftediagramm.

Aus dem Gesagten folgt, daß

$$\text{Min.} \left(\sum_r Q + \sum_r \varkappa f + \sum_r z_k + \sum_r z_0\right) = (1 - \zeta_m - \zeta_0)\, Q_r$$
$$= (1 - \zeta)\, Q_r,$$

wobei bei den heutigen Dampflokomotiven $\xi = 0{,}02$ bis $0{,}22$ und bei Diesellokomotiven $\zeta = 0$ bis $0{,}05$ ist.

Somit erhält die Reibungsbedingung für Dampflokomotiven und Thermolokomotiven mit Kuppelstangen folgende Form:

$$\text{Max.}\, Z_r \leq \frac{0{,}25}{1+\mu}\, (1 - \zeta)\, Q_r.$$

Die Beziehung

$$\frac{\varphi_0}{1+\mu}\, (1 - \zeta) = \frac{0{,}25}{1+\mu}\, (1 - \zeta) = \psi_r$$

nennt man gewöhnlich die Reibungsziffer, wobei natürlich $\psi_r < \varphi_0$ ist und ihm nur gleich wird unter der Bedingung, daß $\mu = \zeta = 0$ ist.

Wie bereits gesagt, ist für Dampflokomotiven $\mu = 0{,}1$ bis $0{,}3$, $\zeta = 0{,}02$ bis $0{,}25$, daher kann bei dem gleichen Werte von $\varphi_0 = 0{,}25\, \psi_r$ in den Grenzen $\psi_r = {}^1/_{6,5}$ bis ${}^1/_{4,5}$ schwanken. Das wurde vollkommen durch Versuche an russischen Dampflokomotiven bestätigt, für die wir die Werte $\psi_r = {}^1/_{6,5}$ bis ${}^1/_5$ erhielten (Drillingslokomotiven gibt es in Rußland nicht).

Ungefähr gleiche Größen von ψ_r müssen auch Thermolokomotiven mit Treibstangen haben. Was jedoch Diesellokomotiven mit Treibstangen betrifft, so kann bei fester Übertragung, sogar bei 6 Zylindern, μ den Wert 0,4 erreichen, was bei $\zeta = 0{,}05$ im Güterdienst den Wert $\psi_r = {}^1/_6$ ergibt.

Bei hydraulischer Übertragung wird, falls diese ohne Stöße arbeitet, $\mu = 0$ und $\psi_r = {}^1/_{4,2}$; jedoch kann beim Auftreten von Stößen ψ_r kleiner werden, bis zu einer Grenze, die jedoch nur durch Versuche festgestellt werden kann.

Bei elektrischer Übertragung der Motoren auf jede Achse ergibt sich, wie bereits erwähnt, folgende Reibungsbedingung:

$$\text{Max.}\, Z_r \leq 0{,}25\, \frac{\text{Min.} \sum z}{2\,Q}\, Q_r.$$

Bringt man diese Beziehung auf die übliche Form

$$\text{Max. } Z_r \leq \psi_r Q_r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6),$$

so wird für diesen Fall

$$\psi_r = 0{,}25 \frac{\text{Min.} \sum_a z}{Q}.$$

Bei

$$z_k = z_0 = 0 \text{ und Min. } z = Q + \varkappa f$$

wird

$$\text{Min.} \sum_a z = 2Q + 2\varkappa f_{\min};$$

daraus ergibt sich

$$\psi_r = 0{,}25 \left(1 - \frac{\varkappa f_{\min}}{Q}\right) = 0{,}25\,(1 - \zeta),$$

worin $\zeta = \frac{\varkappa f_{\min}}{Q}$ ist.

Nach den Untersuchungen von Marié auf den französischen Bahnen und den meinigen auf den russischen Bahnen ist $f_{\min} = -20$ mm, wobei jedoch solche Werte von f nur beim Fahren durch nicht ganz einwandfreie Herzstücke und Brückenausgleichzungen auftreten. Da man aber in solchen besonderen Fällen den Wert von ψ_r mittels Sandes erhöhen kann, so ist es nicht notwendig, solche besonderen Werte von f in die Reibungsbedingung einzuführen.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen und in Abhängigkeit von dem guten Zustande des Oberbaues und dessen Beaufsichtigung schwankt der Wert f zwischen -7 mm und 10 mm. Legt man diese Zahl zugrunde, so erhält man $\zeta = \frac{10\,\varkappa}{Q}$.

Bei den heutigen Lokomotiven schwankt $\varkappa$ von 80 bis 150 kgmm und Q von 7,5 bis 10 t, woraus $\zeta = 0{,}08$ bis 0,20 und $\psi_r = {}^1/_{4,3}$ bis ${}^1/_5$.

Im Sonderfalle der im Bau begriffenen dieselelektrischen Lokomotive wird dieser Wert wahrscheinlich ${}^1/_{4,5}$ betragen.

Die Zugkraft in Abhängigkeit von den Zylinderabmessungen.

Die an den Rädern auftretenden Tangentialkräfte sind Resultierende aus den Kräften, die auf die Kolben der Arbeitsquelle wirken, ihrer inneren Reibung und der Übertragung. Da wir in diesem Falle nicht mit einem festen Körper zu tun haben, sondern mit einem System, so muß man sich zur Feststellung von Z des Gesetzes der virtuellen Verrückungen bedienen. Laut diesem Gesetz ist

$$\sum x\,\mathrm{d}x = \sum Z\,\mathrm{d}s + \mathrm{d}R \quad \ldots\ldots\ldots (7),$$

worin x die Kolbenkraft, $\mathrm{d}x$ ihre virtuelle Verschiebung, $\mathrm{d}s$ die virtuelle Verschiebung des Zuges und der Treibräder und $\mathrm{d}R$ die Art der inneren Reibung ist. Es muß also ermittelt werden der Wert

$$Z_r = \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \sum Z\,\mathrm{d}s.$$

Durch Integration des Ausdrucks von 0 bis πD erhält man:

$$\int_0^{\pi D} \sum x\,\mathrm{d}x = \int_0^{\pi D} Z\,\mathrm{d}s + \int_0^{\pi D} \mathrm{d}R,$$

und hieraus:

$$Z_r = \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \sum x\,\mathrm{d}x - \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \mathrm{d}R \quad \ldots\ldots (8).$$

Bei Abwesenheit einer inneren Reibung ist

$$Z_i = \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \sum x\,\mathrm{d}x \quad \ldots\ldots\ldots (9);$$

da das Integral der Summe gleich der Summe der Integrale ist, so ist

$$\int_0^{\pi D} \sum x\,\mathrm{d}x = \sum \int_0^{\pi D} x\,\mathrm{d}x,$$

wobei jedes der letzten Integrale die Arbeit eines Zylinders während einer Umdrehung der Treibräder umfaßt.

Bei Dampflokomotiven ist die Umlaufzahl der Treibräder in der Sekunde n gleich der Umlaufzahl der Maschine n_d. Bei Diesellokomotiven jedoch ist $n_d = \nu n$, worin $\nu = \frac{n_d}{n}$ das Übersetzungsverhältnis ist. Daher wird bei Dampflokomotiven

$$\int_0^{\pi D} x\,\mathrm{d}x = \frac{\pi d^2}{4}\, 2\, s\, p_i,$$

worin d der Zylinderdurchmesser, s der Kolbenhub und p_i der mittlere indizierte Druck ist; bei Diesellokomotiven mit Motoren von c Takten wird jedoch

$$\int_0^{\pi D} x\,\mathrm{d}x = \frac{\nu}{c} \frac{\pi d^2 s}{2} p_i,$$

woraus bei einer Zylinderzahl m:

$$Z_i = \frac{\nu m}{c} \frac{d^2 s}{2D} p_i.$$

Bei $\nu = 1$, $m = 2$, $c = 1$ erhält diese Gleichung die echte Dampflokomotivform:

$$Z_i = \frac{d^2 s}{D} p_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10).$$

Was jedoch den Wert

$$\frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \mathrm{d}R = W_m \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

betrifft, so ist er bei Dampflokomotiven, wie auch bei Diesellokomotiven, gleich dem Widerstand der Lokomotive als Maschine; dieser Widerstand ist eine Resultierende der schädlichen Widerstände der Kraftquelle und der Übertragung. Durch Vereinigung von Gl. (8), (9) und (11) erhalten wir:

$$Z_r = Z_i - W_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12).$$

Da aber $Z_r = \eta Z_i$ ist, so wird

$$\eta = 1 - \frac{W_m}{Z_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (13).$$

Alles in diesem Abschnitt Gesagte zusammenfassend, kommen wir zu dem Ergebnis, daß im allgemeinen Falle

$$Z_i = \frac{\nu m}{c} \frac{d^2 s}{2D} p_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14),$$

$$Z_r = \eta \frac{\nu m}{c} \frac{d^2 s}{2D} p_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

ist, wobei für Dampflokomotiven $\nu = 1$, $m = 1 - 4$ (Hochdruck) und $c = 1$ ist.

Die Gl. (14) und (15) sind in zwei Hinsichten von Bedeutung: sie geben für jede Lokomotive die Möglichkeit, die Grenzwerte der Zugkraft nach der Zahl der Zylinder festzustellen, und zeigen zugleich die Eigenart der Zugkraft bei der Dampflokomotive und bei der Diesellokomotive.

Diese Eigenart ist grundsätzlich verschieden. Bei Dampflokomotiven ändert sich der indizierte Druck ununterbrochen, zum Teil durch Eingriff des Lokomotivführers durch Veränderung der Regleröffnung ϱ und der Füllung ε, zum Teil auch unabhängig von dem Willen des Lokomotivführers, weil p_i auch unmittelbar von der Geschwindigkeit V abhängig ist. Bei konstanten ϱ, ε fällt der Druck mit erhöhter Geschwindigkeit auch bei unverändertem Kesseldruck. Bei Dieselmotoren schwankt p_i in sehr engen Grenzen, und zwar wird p_i zwecks Wirtschaftlichkeit in den Grenzen zwischen 7,5 und 8 at gehalten. Infolgedessen wird eine Änderung der Zugkraft bei Dampflokomotiven durch Änderung von ϱ und ε erreicht, bei Diesellokomotiven dagegen fast ausschließlich durch Änderung von ν. Da jedoch im Eisenbahnbetrieb die Zugkraft in sehr weiten Grenzen schwanken muß, so muß auch das Übersetzungsverhältnis ν bei Diesellokomotiven in weiten Grenzen veränderlich sein.

In den nächsten Absätzen will ich versuchen, aus diesem Umstande die praktischen Schlüsse zu ziehen. Zunächst will ich untersuchen, auf welche Weise die Gl. (14) und (15) zur Feststellung der Beschränkung der Zugkraft durch die Zylinder benutzt werden können.

Bei Dampflokomotiven ist, wie bereits gesagt,

$$\nu = c = 1;\quad m = \text{konst.}$$

$$p_i = \varphi(p_k, \varrho, \varepsilon, V)$$

$$\eta = \psi(p_k, \varrho, \varepsilon, V).$$

Daher erhalten wir bei Festlegung von Grenzwerten für den Kesseldruck p_k, $\varrho = 1$ und der größten Füllung ε (0,7 für Verbund, 0,5 für Zwilling) folgende Beziehungen:

$$Z_r = f_i(V),$$

$$Z_i = f_r(V),$$

die somit die Grenzen der Zylinderzugkraft darstellen.

Für Diesellokomotiven jedoch ist

$$m = \text{konst.};\quad c = \text{konst.},$$

und wir erhalten daher bei Annahme von $p_i = 8$ und $\nu = \max$

$$Z_i = \text{konst.}$$

Mit andern Worten: bei Dampflokomotiven fällt die höchste durch die Zylinder bedingte indizierte Zugkraft mit Erhöhung der Geschwindigkeit, bei Diesellokomotiven jedoch bleibt sie konstant. Die Zugkraft am

Umfange der Treibräder hängt bei Diesellokomotiven von der Geschwindigkeit ab, und zwar nur in dem Maße, in welchem hiervon der Wirkungsgrad der Übertragung abhängt.

Übersetzungsverhältnis.

Bei fester Übersetzung, wie z. B. bei Automobilen, kann das Übersetzungsverhältnis drei bis vier verschiedene Werte haben: $\nu_1, \nu_2, \ldots$. Wenn der Dieselmotor stets mit derselben Umlaufzahl n_d arbeiten würde, so würde das drei bis vier verschiedenen Werten von V entsprechen, was im Eisenbahnbetrieb vollkommen unzulässig ist. Beim Übergang des Eisenbahnzuges aus einem Abschnitt des Streckenprofils in einen andern müssen sich die Geschwindigkeiten dauernd ändern und daher müssen alle Lokomotiven so entworfen werden, daß sie je mit allen Geschwindigkeiten von null bis zur Grenzgeschwindigkeit arbeiten können. Diese Bedingung wird beinahe ganz erfüllt durch die neuzeitigen Schiffs-Dieselmotoren, die hinreichend gut bei Drehzahlen von 1 bis 7,5 Uml./s arbeiten.

Aus Abb. 2 ist ersichtlich, daß die Geschwindigkeiten $V > V_k$ erzielt werden können sogar bei verschiedenen Werten von ν. Der Nachteil ist nur der, daß die Erzielung von Geschwindigkeiten $V < V_k$, worin V_k einer Drehzahl $n_d = 1$ Uml./s entspricht, und $V = \max$ unmöglich ist. Mit andern Worten: Beim Anfahren muß die Geschwindigkeit von Null plötzlich auf V_k übergehen und das Drehmoment von 0 auf $\nu_k \xi M$. Wenn man sogar $V_k = 1$ km/h annimmt, so werden doch die Beschleunigungen und also auch die lebendigen Kräfte so groß werden, daß die Zughaken und sogar die gesamte Diesellokomotive in große Gefahr kommen. Infolgedessen ist eine vollkommen feste Übersetzung unmöglich, sie muß eine gewisse Nachgiebigkeit aufweisen, mindestens für V von 0 bis V_k.

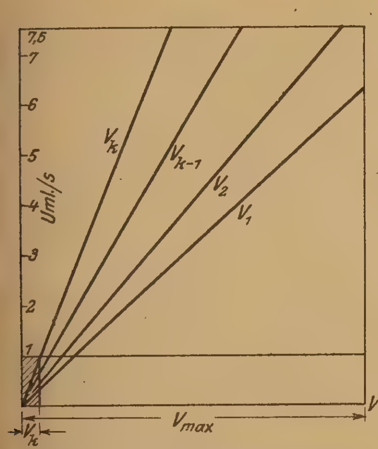


Abb 2. Geschwindigkeitsdiagramm.

Alles Vorhergesagte gilt auch für die hydraulische Übertragung von Lentz. Auch hier gibt es eine Reihe von festen Übersetzungsverhältnissen $\nu_1, \nu_2, \ldots$, und nach meinen Beobachtungen an der Lokomotive der Linke-Hofmann-Werke ist der Hauptmangel des Getriebes die gleichbleibende Umlaufzahl des Motors, die zur Folge hat, daß die Zugbewegung bei allen Geschwindigkeiten, außer denen, die den Werten ν_1, ν_2 entsprechen, von Stößen in der Übertragung begleitet wird. Das Anfahren jedoch geschieht ziemlich befriedigend dank dem Umlaufventil, das die Möglichkeit gibt, bei Feststellung der Übersetzung auf ein gegebenes ν die Zugkraft zu regeln, d. h. sogar bei $v = \nu_{\max}$ die Zugkraft allmählich von 0 bis $\xi\, \nu_k M$ zu erhöhen.

Bei der hydraulischen Übertragung von Williams-Janney ist

$$\nu = \frac{a}{\operatorname{tg} \gamma},$$

worin a eine Konstante und γ der Winkel zwischen der Schwenkscheibe und der Senkrechten ist. Da der Winkel γ von 0 stetig bis auf den Wert γ_m übergeht, so kann sich auch das Übersetzungsverhältnis von ∞ bis ν_m ändern. Bei Werten von ν in der Nähe der Unendlichkeit oder, richtiger gesagt, bei Werten von ν, die ein höheres Z ergeben, als die Reibung zuläßt, ist man gezwungen, sich des Umlaufventils zu bedienen.

Am schwierigsten ist die Frage der Festlegung von ν bei elektrischer Übertragung. Bei Gleichstrom: einer Dynamo mit Fremderregung und Reihenschluß, ist der Ausdruck für die elektromotorische Kraft im Anker der Dynamo

$$E = c_d \mathfrak{S}_d n_d,$$

worin c_d eine konstante Größe für die Dynamo, $\mathfrak{S}_d$ die Anzahl der Kraftlinien bedeutet. Die Leistung am Anker, in PS ausgedrückt, ist

$$N_0 = 1{,}36\, E J,$$

worin J die Stromstärke ist; anderseits aber ist die Leistung am Anker gleich der Nutzleistung des Dynamomotors N_d. Bei gleichbleibendem p_i kann man auf Grund von Versuchen annehmen, daß N_d proportional n_d ist, d. h.

$$N_d = \beta\, n_d \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (16);$$

hieraus ergibt sich:

$$1{,}36\, c_d \mathfrak{S}_d J = \beta,$$

d. h.

$$J = \frac{\beta}{1{,}36\, c_d} \frac{1}{S_d},$$

worin $\mathfrak{S}_d$ durch Stellung des Fahrschalters eingestellt wird. Die Leistung an den Dynamoklemmen beträgt

$$N_e = \eta_e N_d \text{ PS},$$

worin η_e der Wirkungsgrad der Dynamo ist. Da der Leistungsunterschied zwischen Dynamo und Motoren gering ist, kann angenommen werden, daß die Leistung an den Motorklemmen auch N_d PS beträgt. Die Leistung am Anker der Motoren beträgt

$$N_m = \eta_m N_e = 1{,}36\, E_m J \text{ PS},$$

worin η_m der Wirkungsgrad der Motoren, $E_m = c_m \mathfrak{S}_m n_m$ die elektromotorische Kraft in den Ankern der Motoren und n_m deren Drehzahl ist. Bei Reihenschlußmotoren kann mit genügender Genauigkeit $\mathfrak{S}_m = \alpha J$ angenommen werden; hieraus folgt

$$N_e = \frac{1}{\eta_m} \cdot 1{,}36\, c_m\, \alpha\, n_m J^2;$$

nun aber ist

$$n_m = \nu_m n,$$

worin ν_m die gleichbleibende Übertragungszahl der Zahnradübersetzung ist; daher

$$N_e = \eta_e \beta\, n_d = \frac{1}{\eta_m} 1{,}36\, c_m\, \alpha\, \nu_m\, n J^2,$$

oder

$$\nu = \frac{n_d}{n} = \frac{1}{\eta_e \eta_m} \frac{1{,}36\, c_m \alpha}{\beta} \nu_m J^2,$$

oder, wenn man annimmt, daß

$$\frac{1{,}36\, c_m \alpha}{\beta} \nu_m = K:$$

$$\nu = \frac{K}{\eta_e \eta_m} J^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (17).$$

Die Gleichung (17) zeigt, daß bei elektrischer Übertragung ν abhängig ist von $\eta_e \eta_m$ und von der Stromstärke. Nun ist aber auch η_e abhängig von n_d und η_m von E und J; anderseits ist

$$E = c_d \mathfrak{S}_d n_d$$

und

$$J = \frac{\beta}{1{,}36\, c_d} \frac{1}{\mathfrak{S}_d}.$$

Daher ist man berechtigt zu sagen, daß bei elektrischer Übertragung ν abhängig ist von der Stellung des Fahrschalters und von der Umlaufzahl des Dieselmotors.

Aus den erwähnten Gleichungen kann man noch eine bemerkenswerte Folgerung ziehen. Es ist festgestellt worden, daß

$$Z_i = \nu \xi M$$

und

$$Z_r = \eta Z_i,$$

wobei für elektrische Übertragung

$$\eta = \eta_d \eta_e \eta_m \eta_n$$

ist, worin η_d der Wirkungsgrad des Dieselmotors und η_n der Wirkungsgrad der Zahnradübersetzung von den Motoren zu den Treibachsen ist. Da aber

$$\nu = \frac{K}{\eta_e \eta_m} J^2$$

ist, so wird für elektrische Übertragung

$$Z_i = \frac{K}{\eta_e \eta_m} \xi M J^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (18),$$

$$Z_r = \eta_d \eta_n K \xi M J^2 \quad \ldots \ldots \ldots (19);$$

d. h. Z_r ist nicht abhängig vom Wirkungsgrad der Dynamo und der Motoren.

Alle diese Gleichungen erheben nicht den Anspruch auf vollkommene Genauigkeit und müssen durch Versuche nachgeprüft werden. Trotzdem kennzeichnen sie einigermaßen klar diejenigen Erscheinungen, die bei der Arbeit der Diesellokomotiven und bei den auf sie bezüglichen Versuchen auftreten werden.

Begrenzung der Zugkraft durch die Kraftquelle.

Bei Dampflokomotiven kommt diese Beschränkung dadurch zur Geltung, daß die Maschine nicht in der Lage ist, längere Zeit mehr Dampf zu verbrauchen, als der Kessel hergibt. Bezeichnet man den stündlichen Dampfverbrauch der Maschine mit D_m, die von 1 m² Heizfläche des Kessels erzeugte stündliche Dampfmenge mit u und die Heizfläche mit H, so wird diese Bedingung mathematisch wie folgt ausgedrückt:

$$D_m \leqq u H \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (20).$$

Anderseits ist aber

$$D_m = \left(\frac{D}{N}\right) N$$

und

$$N = \frac{Z V}{270};$$

deshalb kann Gl. (20) so geschrieben werden:

$$\frac{D_m}{N} \cdot \frac{Z\,V}{270} \leq u\,H$$

oder

$$Z \leq \frac{270\,u\,H}{V\,\dfrac{D_m}{N}}.$$

Dies ist die Beschränkung der Zugkraft der Dampflokomotive durch die Kraftquelle, d. h. den Kessel. Diese Beschränkung bezieht sich sowohl auf Z_r als auch auch Z_i; aber im ersten Falle muß auch der Dampfverbrauch auf N_r, im zweiten Falle auf N_i bezogen werden. Mit andern Worten ist für die Dampflokomotive

$$Z_i \leq \frac{270\,H}{\dfrac{D_m}{N_i}} \frac{u}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (21)$$

und

$$Z_r \leq \frac{270\,H}{\dfrac{D_m}{N_r}} \frac{u}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (22)$$

Bei Diesellokomotiven kann der Dieselmotor nach Gl. (16) sogar während einer kurzen Zeit nicht mehr Pferdestärken hergeben, als

$$N_d = \beta\,n_d;$$

aber es ist auch

$$N_d = \eta_d\,N_i = \frac{\eta_d}{\eta}\,N_r.$$

Daher erhält der Ausdruck für die Beschränkung durch die Leistung des Dieselmotors folgende Form:

$$N_i \leq \frac{\beta}{\eta_d}\,n_d,$$

oder

$$N_r \leq \frac{\eta}{\eta_d}\,\beta\,n_d.$$

Da aber $N = \frac{Z\,V}{270}$ ist, so können die beiden Ausdrücke wie folgt geschrieben werden:

$$Z_i \leq \frac{270\,\beta\,n_d}{\eta_d\,V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (23)$$

$$Z_r \leq \frac{270\,\beta}{\eta_d}\,\eta\,\frac{n_d}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (24).$$

Wenn wir die Gleichungen (21) und (22) mit den Gleichungen (23) und (24) vergleichen, so zeigt es sich, daß bei Diesellokomotiven die Umlaufzahl des Dieselmotors n_d die gleiche Rolle spielt, wie bei Dampflokomotiven die Dampfmenge, die von 1 m² Heizfläche erzeugt wird: das eine wie das andere kennzeichnet die Anstrengung des Krafterzeugers und somit auch der Lokomotive. Bei gleichbleibendem n_d ist die Kurve für den Ausdruck

$$Z_i = f(V),$$

die die Beschränkung der Zugkraft durch die Kraftquelle darstellt, für jede Art von Diesellokomotiven eine gleichschenklige Hyperbel, da η_d nur eine Funktion von n_d ist. Bei Dampflokomotiven weicht jedoch diese Kurve sowie auch die Kurve für den Ausdruck $Z_r = f(V)$ von der gleichschenkligen Hyperbel insofern ab, als $\frac{D_m}{N_i}$ und $\frac{D_m}{N_r}$ von der Geschwindigkeit abhängig sind. Bei einer Geschwindigkeit, die von $n = 3$ Uml./s nicht weit entfernt ist, sind die Werte am geringsten; bei Abfall der Geschwindigkeit wachsen sie infolge Zunahme der Verluste durch Kondensation und Lässigkeit, bei steigender Geschwindigkeit infolge wachsender Verluste durch Dampfdrosselung, d. h. durch Verschlechterung des Indikatordiagramms.

Ebenso unterscheidet sich die Kurve

$$Z_r = \frac{270\,\beta}{\eta_d}\,\eta\,\frac{n_d}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (25)$$

für Diesellokomotiven von einer gleichschenkligen Hyperbel insofern, als η von der Geschwindigkeit abhängig ist. Bei fester Übertragung wird diese Abhängigkeit kaum bedeutend sein, aber für die elektrische und hydraulische Übertragung wird η wahrscheinlich mit steigender Geschwindigkeit fallen. Jetzt schon vorauszusagen, wie das Gesetz dieser Verschlechterung sein wird, ist verfrüht. Dies kann nur auf Grund wissenschaftlich aufgebauter Versuche erfolgen.

Es ist interessant, daß in den Gleichungen (23) und (24) nicht einfach die Werte n_d und V auftreten, sondern das Verhältnis

$$\frac{n_d}{V} = \frac{\nu}{3{,}6\,\pi\,D}.$$

Da aber

$$Z_i = \nu\,\xi\,M$$

und

$$Z_r = \eta\,\nu\,\xi\,M$$

ist, so nehmen die beiden Gleichungen für den höchst möglichen Wert von Z folgende Form an:

$$\nu\,\xi\,M = \frac{270\,\beta}{\eta_d} \frac{\nu}{3{,}6\,\pi\,D}$$

oder

$$\beta = \frac{\pi\,D\,\xi\,\eta_d\,M}{75} = \frac{m}{c}\,\eta_d\,\frac{\pi\,\dfrac{d^2}{4}\,p_i\,2\,s}{75} = \frac{N_d}{n_d},$$

was aus der Definition von β folgt. Dieses Ergebnis bestätigt nur die Richtigkeit unserer Erwägungen.

Zum Schluß muß hervorgehoben werden, daß bei elektrischer Übertragung außer der Beschränkung der Zugkraft durch die Leistung der Kraftquelle noch eine Beschränkung durch die Erwärmung der Motoren und die Erregung vorhanden ist. Die erste Beschränkung erfordert die experimentelle Festlegung der Beziehung zwischen der Temperatur der Motoren τ, der Zeit t, der Stromstärke J und der Spannung E. Wird diese Beziehuug

$$\psi\,(J,\ E,\ \tau,\ t) = 0,$$

oder

$$J = \varphi'\,(E,\ \tau,\ t)$$

gefunden, so kann für jede Spannung E, jede Zeitspanne t und die ungefährliche Grenztemperatur τ der Höchstwert von J gefunden werden, der während der gegebenen Zeitspanne aufrecht erhalten werden kann, also

$$Z_r = \eta_d\,\eta_n\,K\,\xi\,M\,J^2. \quad (26).$$

Da die in dieser Gleichung vorkommenden Größen von V nicht abhängig sind, so ist die Kurve der Zugkraft in bezug auf die Erwärmung der Motoren in dem Koordinatensystem Z_r, V durch eine wagerechte Gerade dargestellt. Der Abstand dieser Geraden von der Achse ist abhängig von der Zeit t: je geringer die Zeit, desto größer ist der Abstand. Infolgedessen wird die Beschränkung der Zugkraft durch Erwärmung der Motoren bei langen Steigungen ausschlaggebend. Zur bildlichen Darstellung des Gesagten sind in Abb. 3 die Begrenzungen der Zugkraft für unsere dieselelektrische Lokomotive aufgezeichnet.

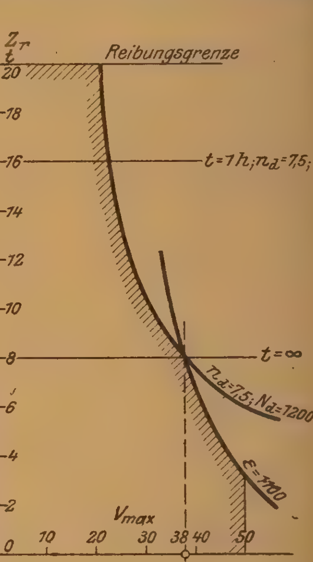


Abb. 3. Begrenzung der Zugkraft der dieselelektrischen Lokomotive.

Was die Zugkraftbegrenzung durch die Erregung anbetrifft, so ist sie dadurch bedingt, daß der Strom der Erregermaschine nicht mehr Kraftlinien erzeugen kann, als die Höchstzahl 𝔖, die den Höchstwert

$$E_x = c_d\,\mathfrak{S}\,(n_d)_{\max}$$

ergibt. Hieraus:

$$E_m = \eta_e\,\eta_m\,E_x = c_m\,a\,J\,\nu_m\,n,$$

ferner

$$J_x = \frac{\eta_e\,\eta_m\,E_x}{c_m\,a\,\nu_m\,V}\,3{,}6\,\pi\,D$$

und bei

$$E_x = \text{konst.}$$

$$J_x = B\,\frac{\eta_e\,\eta_m}{V}.$$

Nach Gl. (26) ist

$$Z_r = \eta_d\,\eta_n\,K\,\xi\,M\,J^2,$$

hieraus bei $E = E_x$:

$$Z_r = \eta_d\,\eta_n\,\eta_e^2\,\eta_m^2\,K\,B^2\,\xi\,M\,\frac{1}{V^2}.$$

Setzt man

$$K\,B^2\,\xi\,M = b$$

und unter Berücksichtigung des Umstandes, daß $\eta_d\,\eta_e\,\eta_m\,\eta_n = \eta$ ist, so wird

$$Z_r = \eta\,\eta_e\,\eta_m\,\frac{a}{V^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (27).$$

Dies ergibt eine Hyperbel dritter Ordnung. Für unsre dieselelektrische Lokomotive hat sie die Form, wie in Abb. 3 aufgezeichnet.

Man sieht, daß die Zugkraftbeschränkung durch die Erregung bei großen Geschwindigkeiten auftritt. Infolgedessen hat sie eine Bedeutung nur beim Personenzugverkehr. Daher wird unsre Diesellokomotive für Personenverkehr weniger brauchbar sein, weil bereits bei $V = 38$ km/h diese Einschränkung von ausschlaggebender Bedeutung sein wird. [A 1987]

Die Drehschwingungsmaschine, eine neue Prüfmaschine zur Gütebestimmung von Werkstoffen.

Von Prof. Dr.-Ing. O. Föppl, Braunschweig.

Es wird eine neue Eigenschaft der Baustoffe, die Dämpfungsfähigkeit, die bei Drehschwingungsbeanspruchung auftritt, eingeführt. Die Dämpfungsfähigkeit γ kann in Abhängigkeit von der Schubspannung τ ermittelt und in Kurvendarstellung aufgetragen werden. Die $\gamma\tau$-Kurve kennzeichnet den Baustoff für die Verwendungszwecke der Praxis.

Wenn der Ingenieur in der Praxis einen Baustoff für die Herstellung eines Konstruktionsteiles verwendet, so interessiert ihn der Grad der Widerstandsfähigkeit, mit der der Baustoff den in der Praxis auftretenden, sich oft wiederholenden Beanspruchungen standhält. Es wäre zu schwierig, diesen Grad der Widerstandsfähigkeit auf einer Festigkeitsmaschine festzustellen, die genau die praktisch auftretende Beanspruchungsart nachahmt. Man beschränkt sich deshalb darauf, an Stelle der Widerstandsfähigkeit die Angaben, die der Zerreißversuch liefert, für die Kennzeichnung des Baustoffes heranzuziehen.

Dieses jetzt allgemein übliche Verfahren ist sehr unvollkommen, wie eine kurze Überlegung zeigt[1]).

Aus dem Zerreißversuch erhalten wir in erster Linie die Bruchfestigkeit. Es ist bekannt, daß die Bruchfestigkeit kein hinreichendes Kennzeichen für die Bewertung eines Baustoffes für Konstruktionszwecke liefert. Ein Baustoff ist nicht um so besser, je höher seine Bruchfestigkeit liegt. Für viele Bauzwecke wird im Gegenteil vorgeschrieben, daß die Bruchfestigkeit σ_{Br} nicht nur einen Mindestwert haben muß, sondern daß sie außerdem einen bestimmten Höchstwert nicht überschreiten darf. Wenn demnach bei der Berechnung die Annahme gemacht wird, daß die Betriebsbeanspruchung nur einen bestimmten Bruchteil der Bruchfestigkeit $\left(\text{z. B. } \sigma_{max} \leq \frac{1}{6}\,\sigma_{Br}\right)$ betragen darf, so ist dabei stillschweigend die Voraussetzung gemacht, daß der Baustoff noch andere Eigenschaften hat, die durch σ_{Br} nicht ausgedrückt werden.

Man versucht, diese anderen Eigenschaften des Baustoffes auf die Weise in eine Zahlenangabe zu fassen, daß man neben der Zerreißfestigkeit noch die Bruchdehnung ε_{Br} ermittelt. Daß aber auch die Angabe von ε_{Br} nur eine sehr unvollkommene Kennzeichnung des Baustoffes für die Verwendungszwecke der Praxis liefert, zeigt schon das Aussehen eines jeden in der Praxis auftretenden Bruches, der auf oft wiederholte Beanspruchung zurückzuführen ist: Gerade an der Einrißstelle, von der der Bruch ausgeht, ist nicht die geringste Bruchdehnung des Baustoffes festzustellen, — auch nicht mit den feinsten mikroskopischen Untersuchungsverfahren. Bei sich oft wiederholender Beanspruchung reißt vielmehr der Baustoff mit Spannungen ein, die weit unter der Bruchfestigkeit liegen, — dann aber ohne bleibende Formänderung. Wenn man deshalb die Bruchdehnung zur Kennzeichnung eines Baustoffes für die Verwendungszwecke der Praxis benutzt, so macht man stillschweigend die Annahme, daß ein Baustoff, der große Bruchdehnung aufzuweisen hat, im gleichen Maße auch jene andren geheimnisvollen und bisher unbestimmbaren Eigenschaften besitzt, die ihn für Bauzwecke besonders geeignet machen.

Es ist bekannt, daß diese Annahme nur in sehr bedingter Weise zutrifft. Für die feinere Qualitätsbestimmung von Baustählen verwendet man deshalb noch andre Kennzeichen — vor allem die Kontraktion und die Kerbzähigkeit —, mit denen man einen Rückschluß auf die Eignung des Baustoffes für Konstruktionszwecke zu ziehen versucht. Auch hier ist der Schluß nur ein mittelbarer: Es ist ja ohne weiteres klar, daß weder die Kontraktion noch die Kerbzähigkeit, die vom plastischen Fließen des Baustoffes herrühren, unmittelbar die Eigenschaften angeben, auf die es bei der Zerstörung eines Bauteiles bei oft wiederholter Beanspruchung ankommt.

Es muß deshalb das Bestreben jedes Gütemeßverfahrens sein, unmittelbar die Eigenschaften — und zwar bei den Spannungen, die in der Praxis an dem Baustoff auftreten — festzustellen, von denen die Widerstandsfähigkeit gegen oft wiederholte Beanspruchung abhängt. In dieser Richtung soll das im nachfolgenden beschriebene Prüfverfahren einen Schritt vorwärts bringen: der Baustoff wird bei den Beanspruchungen gekennzeichnet, die auch in der Praxis in gleicher oder ähnlicher Größe an ihm auftreten.

Über die neue Versuchsmaschine selbst ist schon an andrer Stelle (Grundzüge der Technischen Schwingungslehre § 41 bis 43, Julius Springer, Berlin 1923, oder Berichte des Werkstoffausschusses des Vereines deutscher Eisenhüttenleute Nr. 36 vom Jahre 1923 oder Schweizerische Bauzeitung vom 13. Januar 1924 oder A. Föppl-Festschrift) berichtet worden. In der zuletzt genannten Veröffentlichung findet man auch die Wiedergabe der ersten zusammenfassenden Versuchsergebnisse. Eine ausführliche Beschreibung der neuen Versuchmaschine und der damit gewonnenen Versuchsergebnisse soll in der Dissertation des Herrn A. Busemann erscheinen, der sich besondere Verdienste um den Bau der Prüfmaschine und um die Entwicklung des Prüfverfahrens erworben hat. An dieser Stelle soll zum ersten Mal das neue Gütemeßverfahren beschrieben werden, das auf die gewonnenen Versuchsergebnisse aufbaut. Zum Verständnis der nachfolgenden Ausführungen muß ich nochmals kurz die Versuchsanordnung beschreiben:

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 1 dargestellt. Der Versuchsstab a ist als Welle ausgebildet und an einem Ende b festgehalten. Am andern Ende trägt er die Schwungmasse J. Die Welle ist gut gelagert, so daß sie sich nicht durchbiegen kann. Das System $a\,J$ kann Eigenschwingungen ausführen, deren Dauer T_1 sich in bekannter Weise berechnen läßt. Auf die Schwungscheibe J wirkt eine periodische Kraft P im Rhythmus der Eigenschwingungszahl. Die Größe der Kraft P wird so geregelt, daß ein bestimmter Ausschlagwinkel $\Delta\,\varphi_{max}$, dem eine Schubspannung τ_{max} entspricht, erhalten wird. Damit die Kraft P nicht zu klein ausfällt (bei Resonanz bringt ja schon ein kleiner Impuls einen großen Ausschlag hervor), wirkt auf die Schwungscheibe J eine Bremsvorrichtung (Wasserbremse c) ein, die bei jeder Schwingung einen Teil der Energie vernichtet. Die Größtwerte von Kraft P und Winkel $\Delta\,\varphi$ sind bei Resonanz um 90° phasenverschoben. Der Phasenverschiebungswinkel wird zur Regelung der Periode der antreibenden Kraft P benutzt, die immer genau gleich der Schwingungsperiode gehalten wird. Eine weitere Vorrichtung dient zur genauen Bestimmung des großen Ausschlagwinkels.

$P = P_0 \cos \frac{2\pi t}{T_1}$

Abb. 1. Versuchsanordnung.

Wenn auf die Schwingungsanordnung, Abb. 1, ein Impuls mit der Periode der Eigenschwingungszahl einwirkt, so muß der Stab, solange keine Energie abgeführt wird, theoretisch immer größere Ausschläge machen, bis er schließlich bricht. Wie sieht nun die Sache praktisch aus? D. h. was wird eintreten, wenn wir bei der Schwingungsanordnung Abb. 1 die Bremse weglassen? Die vorhergenannte Drehzahlregelung sorgt dafür, daß der Impuls stets genau im Rhythmus der Eigenschwingungszahl eingeführt wird. Impuls und Schwingungsausschlag sind um 90° phasenverschoben und die ganze Energie wird dem Probestab zugeführt. Wenn der Stab nicht schon nach wenigen Schwingungen entzweigehen soll, muß er imstande sein, Energie aufzunehmen bzw. in Wärme umzusetzen.

Bezüglich der Energieumsetzungsfähigkeit eines Baustoffes sind zwei Fälle zu unterscheiden: Bevor der Stab in zwei Stücke bricht, treten mit dem bloßen Auge vorerst äußerlich nicht sichtbare Längsrisse auf. Die beiden Rißflächen reiben im Betrieb stark aneinander, so stark, daß nach dem völligen Abbrechen der Werkstoff an diesen Stücken verbrannt und zermürbt aussieht. Bei dieser Bewegung der beiden Bruchflächen aneinander wird Wärme freigemacht, die äußerlich mit der Hand kurz vor dem Bruch oft festgestellt werden kann und die die Bruchstelle verrät. Diese Wärmeabgabe dauert bei bestimmten Werkstählen etwa 0 bis 10 000 Schwingungen; dann ist der Stab durchgebrochen.

Es gibt aber auch Baustähle, die schon bei verhältnismäßig niedrigen Spannungen eine Zeitlang (10 oder noch mehr Millionen Schwingungen) überstehen und dabei gleichmäßig erhebliche Wärmemengen von sich geben können. Zum Unterschied vom vorausgehenden Fall erstreckt sich die Erwärmung nicht über einen kleinen Bezirk, sondern gleichmäßig über den ganzen Stab. Mit diesem letzteren Fall der Energieumsetzungsfähigkeit eines Baustoffs wollen wir uns im nachfolgenden befassen.

Der Energieumsetzungsfähigkeit von Baustoffen ist bisher keine Beachtung geschenkt worden, wiewohl ihr für die Kennzeichnung des Baustoffs große Wichtigkeit zukommt. Die Wichtigkeit der Dämpfungsfähigkeit kann gerade an der im Vorausgehenden beschriebenen Versuchsanordnung leicht festgestellt werden; der eine Stab z. B., der Energie aufnehmen konnte (das heißt der bei der Beanspruchung warm wurde), erlitt bei einer bestimmten Größe des eingeleiteten Impulses eine Beanspruchung $\tau_{max} = 21$ kg/mm². Er brach mit dieser Beanspruchung nach 11 Millionen Schwingungen. Der Stab setzte dabei so viel Energie in Wärme um, daß er dauernd etwa 40° wärmer war als seine Umgebung. Ein andrer Stab aus einer Sorte, die erheblich höhere Festigkeitswerte aufwies, die aber kaum Energie in Wärme umsetzen konnte, machte bei einem Impuls, dessen Größe nur ein Bruchteil von der Größe des zuerst genannten Impulses war, einen Ausschlag mit einer Beanspruchung $\tau_{max} = 32$ kg/mm². Der Stab wurde dabei nicht fühlbar warm. Er brach aber bereits nach 50 000 Schwingungen.

[1]) Auf die Unzulänglichkeit der Gütebestimmung eines Werkstoffes durch Angabe der Bruchfestigkeit und der Bruchdehnung wies schon früher Dr. Welter in Z. 1924 S. 9 hin.

Aus diesem Beispiel ersieht man die Wichtigkeit, die der Energieumsetzungsfähigkeit eines Baustoffs zugemessen werden muß; es verlohnt sich wohl, daß wir uns eingehender mit ihr befassen.

Die Energieumsetzungsfähigkeit ν eines Baustoffs ist dem Produkt aus der Dämpfungsarbeit γ, die auf e i n e Schwingung in Wärme umgesetzt wird, mal der Anzahl der Schwingungen, die bis zum Bruch ausgeführt werden, gleich. Vorausgesetzt ist dabei, daß bei jeder Schwingung gleicher Ausschlag $\Delta\varphi_{max}$ oder gleiches τ_{max} auftreten ($\tau_{max} = \frac{r\,\Delta\varphi_{max}}{l} \cdot G$; im Nachfolgenden ist statt τ_{max} nur τ geschrieben; G = Gleitmodul; r = Wellenhalbmesser; l = Wellenlänge). Die Ausdrücke γ und ν haben wir auf die Gewichteinheit des auf Verdrehen beanspruchten Stabstückes bezogen, so daß ihre Dimension in $\frac{\text{cm kg}}{\text{kg}}$ oder in cm oder in $\frac{\text{PSh}}{\text{kg}}$ ausgedrückt werden kann.

Die Werte von γ und ν sind vom gewählten Schwingungsausschlag oder von τ abhängig. Die Abhängigkeit zwischen ν und τ festzustellen ist sehr schwierig und zeitraubend, da zur Festlegung

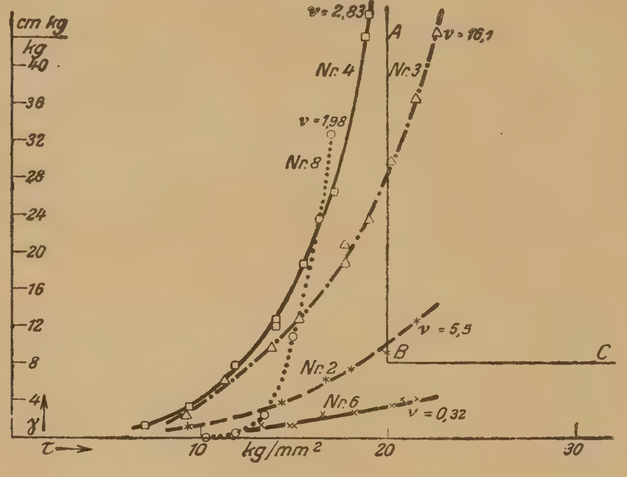


Abb. 2. $\gamma\,\tau$-Kurven.

eines jeden Wertes ν ein Stab zu Bruch gebracht werden muß. Wesentlich einfacher ist es, die zusammengehörigen Werte von γ und τ zu bestimmen oder die $\gamma\,\tau$-Kurve festzulegen. Die $\gamma\,\tau$-Kurve kann in dem Gebiet, in dem die Beanspruchungen der Praxis auftreten, bestimmt werden, und sie gibt eine ganz besonders treffende Kennzeichnung der Eigenschaften des Baustoffes insbesondere dann, wenn die $\gamma\,\tau$-Kurve noch durch die Angabe e i n e s Wertes ν für ein ganz bestimmtes τ ergänzt wird.

In Abb. 2 sind einige $\gamma\,\tau$-Kurven für verschiedene Edelkonstruktionsstähle (Nr. 2, 3, 4 und 6) und für gewöhnliches Flußeisen (Nr. 8) eingetragen. Das Flußeisen zeichnet sich dadurch vor den übrigen Stahlsorten aus, daß die Dämpfung erst bei größerer Beanspruchung ($\tau > 10$ km/mm²) auftritt, dann aber ganz besonders rasch anwächst.

In Zahlentafel 1 sind die fünf Baustoffe unter Angabe ihrer Festigkeitseigenschaften eingetragen. Man ersieht daraus, daß die statischen Festigkeitsangaben der vier Edelstähle nicht sehr große Verschiedenheiten voneinander zeigen. Die Stäbe 2 und 4 haben etwas geringere Festigkeit, dafür aber etwas größere Bruchdehnung als 3 und 6. Weit größere Verschiedenheiten machen sich in den $\gamma\,\tau$-Kurven der vier Edelstähle bemerkbar, besonders wenn man noch die Werte von ν für die Beurteilung heranzieht. Die größte Energieumsetzung bis zum Bruch ist mit dem Baustahl Nr. 3 (E 724 der Bergischen Stahl-Industrie bei einer ganz bestimmten Wärmebehandlung) erzielt werden; ihm folgt Baustahl Nr. 2 (HBN der B. S. I.). Die Stähle 4 und vor allem 6 fallen dagegen in den ν-Werten wesentlich ab. Ein Baustahl ist natürlich unter sonst gleichen Umständen um so höher einzuschätzen, je mehr Energie er bis zum Bruch in Wärme umsetzen kann, je höher also sein Wert ν liegt.

Nicht alle Baustähle haben eine so gut bestimmbare $\gamma\,\tau$-Kurve wie die in Abb. 2 aufgeführten Stahlsorten. In letzterer Zeit ist ein Baustahl untersucht worden, dessen $\gamma\,\tau$-Kurve infolge der Beanspruchung eine Verschiebung erlitt, die wohl auf Gefügeänderung infolge der Beanspruchung zurückzuführen war. Wie eine Veränderlichkeit der $\gamma\,\tau$-Kurve für die Gütebestimmung des Baustoffes zu erwarten ist, liegt noch nicht fest.

Ein harter Baustoff hat eine flach verlaufende $\gamma\,\tau$-Kurve (z. B. Nr. 6), während bei einem zähen Baustoff schon bei verhältnismäßig niedrigen Werten von τ erhebliche Werte von γ erhalten werden (Nr. 4). Den $\gamma\,\tau$-Kurven sieht man schon in Abb. 2 an, daß sie sich angenähert durch eine Exponentialfunktion ($\gamma = d\,\tau^{\varkappa}$) ausdrücken lassen müssen. Um den Exponentialkoeffizienten $\varkappa$ zu ermitteln, haben wir die fünf $\gamma\,\tau$-Kurven nochmals in Abb. 3 unter Verwendung von logarithmischen Maßstäben aufgetragen. Die Kurven lassen sich hiermit guter Annäherung durch Gerade darstellen (nur Baustahl 6 weist etwas größere Abweichungen von der Geraden auf). Die Werte von $\varkappa$ sind für die fünf Baustoffe ermittelt und in Zahlentafel 1 eingetragen worden. Die Werte von $\varkappa$ für die Edelstähle zeigen keine sehr großen Abweichungen voneinander ($\varkappa$ liegt zwischen 2,5 und 3,7). Nur das Flußeisen mit $\varkappa = 12{,}8$ fällt ganz aus der Reihe heraus.

Abb. 3. $\gamma\,\tau$-Kurven im logarithmischen Maßstab.

Bei den verhältnismäßig geringen Abweichungen in der Größe der Exponentialkoeffizienten $\varkappa$ für die Edelstähle ist das wesentliche Kennzeichen für die einzelnen $\gamma\,\tau$-Kurven der Faktor d, der zu τ in obiger Gleichung hinzutritt, oder die Größe von γ, die zu einer bestimmten Schubspannung (z. B. zu $\tau = 8$ kg/mm²) gehört.

Bei der Gütebestimmung von Baustählen, die dem Festigkeitslaboratorium der Technischen Hochschule Braunschweig zur Untersuchung eingesandt werden, wird zurzeit nach folgenden Gesichtspunkten verfahren[1]:

Die Stäbe müssen in einer Normalform, Abb. 4, eingeliefert werden. Die Werte τ, γ und ν sind zwar theoretisch unabhängig von der Stab f o r m. Im Interesse der Einheitlichkeit der Versuche empfiehlt es sich aber, vorläufig an einer bestimmten Form des Probestabes festzuhalten.

Der zur Untersuchung kommende Stab wird zuerst mit geringem Ausschlag der Schwungscheibe J unter starker Heranziehung der Wasserbremse c in Abb. 1 in Betrieb genommen. Dann wird, nachdem Beharrungszustand erreicht ist (etwa nach 45 Minuten), mit Thermoelementen die Erwärmung des Stabes in der Mitte bestimmt. Aus der Temperaturerhöhung über die

[1] Die neue Prüfmaschine selbst wird von der Braunschweigischen Maschinenbauanstalt hergestellt und in den Handel gebracht.

Zahlentafel 1.

Baustoff Nr.	Streckgrenze*) kg/mm²	Bruchfestigkeit*) kg/mm²	Dehnung*) vH	Kontraktion*) vH	Belastungsstufe I: Umdrehungen n	Belastungsstufe I: τ kg/mm²	Belastungsstufe II: Umdrehungen n	Belastungsstufe II: τ kg/mm²	ν $\frac{\text{PSh}}{\text{kg}}$	γ $\frac{\text{cmkg}}{\text{kg}}$	Exponent $\varkappa$	Stahlsorte
2	61	85,5	14	48,5	11 940 000	21,5	—	—	5,5	12,5	2,8	Mangan-Nickel-Stahl
3	78	87,0	12,2	60,5	1 730 000	21,5	8 530 000	22,6	16,1	43,6	3,2	Chrom-Nickel-Stahl
4	55,5	67,1	16,8	70	1 670 000	18,9	—	—	2,83	45,5	3,7	Chrom-Vanadium-Stahl
6	78,5	89,4	10,0	60	2 110 000	21,5	—	—	0,32	4,05	2,55	Chrom-Nickel-Stahl
8	38,5	51,2	18,3	59	1 630 000	17,0	—	—	1,98	32,5	12,8	gewalztes Flußeisen

*) Die Festigkeitswerte sind von Probestäben gewonnen, die aus den Köpfen der Schwingungsstäbe hergestellt wurden. Mit Rücksicht auf die beschränkten Abmessungen der Köpfe konnten nur Probestäbe von 10 mm Dmr. und 100 mm Meßlänge hergestellt werden.

Umgebungstemperatur wird mit Hilfe eines Auslaufversuches und eines anderen Verfahrens, das in der Arbeit von A. Busemann ausführlicher besprochen wird, der auf jede Schwingung in Wärme umgesetzte Arbeitsbetrag γ ermittelt. Der gleiche Versuch wird mit steigenden Werten τ wiederholt und die Kurve, Abb. 2, so lange fortgesetzt, bis angenommen werden kann, daß der Stab mit der betreffenden Belastung weniger als 10 Millionen Schwingungen aushält. Als Grenze werden vorläufig etwa die Geraden AB und BC in Abb. 2 angesehen; d. h. es müßte also so lange der Schwingungsausschlag gesteigert werden, bis entweder $\tau = 20$ kg/mm² bei $\gamma > 8 \frac{\text{cm kg}}{\text{kg}}$ oder $\gamma = 8 \frac{\text{cm kg}}{\text{kg}}$ bei $\tau > 20$ kg/mm² erreicht ist. (Die Geraden AB und BC gelten nur für hochwertigen Edelbaustahl, und die Werte liegen noch nicht endgültig fest.)

Mit dem Ausschlag $\Delta \varphi_m$ und der zugehörigen Energieumsetzung γ_m, die dem Punkt an der Kurve ABC entsprechen, wird die Schwingungsanordnung so lange in Betrieb gehalten (n Schwingungen), bis der Stab zu Bruch kommt. Die Werte an der Kurve ABC sind mit dem Index m bezeichnet. Es ist dann $n \gamma_m = \nu_m$, und es stehen 3 Werte zur Verfügung, die die Eigenschaften des Baustoffes kennzeichnen: τ_m mit zugehörigem γ_m und ν_m.

Je niedriger γ_m im Verhältnis zu τ_m liegt, desto härter ist der Stahl. Von einem weichen Edelbaustahl muß also verlangt werden, daß γ_m im Vergleich zu τ_m nicht zu niedrig liegt, sagen wir z. B., daß γ_m mindestens gleich $10 \frac{\text{cm kg}}{\text{kg}}$ bei $\tau_m = 20$ kg/mm² betragen sollte, während ein harter Federstahl dadurch gekennzeichnet ist, daß γ_m einen möglichst hohen Wert im Vergleich zu τ_m hat, z. B. $\tau_m > 30$ kg/mm² für $\gamma = 8 \frac{\text{kg/cm}}{\text{kg}}$. Die Werte $\gamma_m \tau_m$ kennzeichnen demnach den Verwendungszweck des Baustoffes.

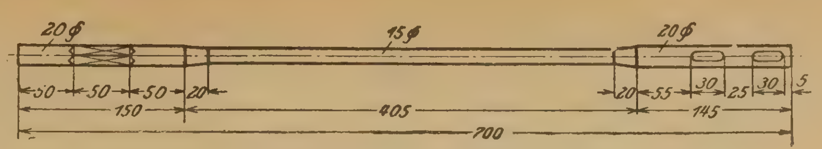


Abb. 4. Normalform eines Probestabes.

Die Güte eines Baustahls in bezug auf seine Festigkeitseigenschaften bei wechselnder Beanspruchung wird durch die Angabe von ν_m ausgedrückt: Von 2 Baustoffen mit ähnlichen $\gamma_m \tau_m$-Werten ist jener für den Dauerbetrieb geeigneter, der den höheren Wert ν_m aufzuweisen hat.

Das vorstehend beschriebene Prüfverfahren hat den Vorteil, daß es den Baustoff mittels d e r Eigenschaften kennzeichnet, von denen die Bewährung im Dauerbetrieb abhängt. Beim statischen Zerreißversuch wird innerhalb des Gebietes, in dem der Baustoff in der Praxis beansprucht wird (d. h. unterhalb der Streckgrenze), nur die Dehnung in Abhängigkeit von der Beanspruchung ermittelt. Die elastische Dehnung liefert aber kein Maß für die Kennzeichnung des Baustoffes, da sie z. B. für sämtliche Eisensorten etwa gleichen Wert hat (E etwa gleich 2 000 000 kg/cm²). Das neue Prüfverfahren gibt Eigenschaften des Baustoffes innerhalb seines Verwendungsgebietes an und ist deshalb besonders geeignet, das Verhalten des Baustoffes im Verwendungsgebiete zu kennzeichnen.

Die Erprobung eines Baustoffes auf der Drehschwingungsmaschine hat gegenüber dem Zerreißversuch den Nachteil, daß der Versuch viel Zeit, Mühe und Sorgfalt in Anspruch nimmt. Das neue Prüfverfahren eignet sich deshalb weniger für den allgemeinen Abnahmebetrieb. Es ist aber vor allem dort am Platze, wo Baustoffe gegeneinander gewertet werden sollen, wo also dem Ergebnis der Prüfung eine größere Bedeutung beigemessen wird.
[A 128]

Statistik der schweizerischen Eisenbahnen.

Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband hat durch seinen Sekretär, Ing. A. H a r r y , eine Statistik über den Betrieb der Bahnen im Jahre 1921 aufgestellt[1]), die mit Rücksicht darauf, daß die Schweiz hinsichtlich Einführung des elektrischen Betriebes an der Spitze der europäischen Staaten steht, wertvolle Aufschlüsse gibt.

Das schweizerische Bahnnetz einschließlich Neben-, Straßen-, Zahnrad- und Drahtseilbahnen umfaßte 1921 eine Länge von 5748 km, davon wurden betrieben mit Dampf 3460 km oder 60,2 vH der Gesamtlänge, elektrisch 2288 km oder 39,8 vH der Gesamtlänge, 91 km waren zwar für elektrische Zugförderung eingerichtet, wurden aber zum Teil mit Dampflokomotiven betrieben, hauptsächlich im Verschiebedienst auf den Bahnhöfen. Bei den verschiedenen Bahnarten ergab sich folgendes für den Betrieb:

	Gesamtlänge	Betriebe			
		mit Dampf	mit Wasser	elektrisch	elektrisch
	km	km	km	km	vH
Regelspurbahnen	3 673	3 081	—	592	16,1
Schmalspurbahnen (1 m)	1 562	404	—	1 158	74,2
Zahnradbahnen	109	42	—	67	61,2
Straßenbahnen	496	—	—	496	100,0
Drahtseilbahnen	49	—	9	40	82,7
Regelbahnen in ausländ. Betrieb	54	54	—	—	—
Insgesamt	5 943	3 581	9	2 353	39,6

Bringt man die für Zweiglinien doppelt gerechneten Betrieblängen von insgesamt 140 km, davon 26 km elektrisch, in Abzug, ebenso die auf ausländischem Boden gelegenen Strecken mit insgesamt 55 km (39 km elektrisch), dann ergeben sich aus der Tabelle die bereits oben angegebenen Gesamtlängen und Gesamtprozente (abgerundet).

Der Umfang des Zugverkehrs in Zugkilometern und in tkm ergab folgende Zahlen:

	1000 Zug-km		1000 tkm	
	Dampf	elektrisch	Dampf	elektrisch
Regelspurbahnen	23 734	4 912	6 552 046	1 299 256
Schmalspurbahnen	1 552	6 995	120 124	301 232
Zahnradbahnen	69	160	2 045	3 859
Straßenbahnen	—	33 501	—	—
Drahtseilbahnen	—	580	—	—
Insgesamt	25 355	46 148	6 674 215	1 604 347

[1]) „Schweizerische Wasserwirtschaft" Bd. 15 (1923) Heft 13.

Hieraus ergibt sich, daß 64 vH der insgesamt geleisteten Zugkilometer (71 504 747) elektrisch gefahren sind, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß auch einzeln fahrende Triebwagen als Züge gerechnet sind. Zum ersten Male wurden auch der Gesamtverbrauch an Kohle, u. zw. zu 499 709 t, und die verbrauchte elektrische Energie zu 127 265 478 kWh festgestellt. Die von den Elekrizitätswerken geleistete Arbeit ist natürlich bedeutend größer und kann nur annähernd geschätzt werden.

Die elektrisch betriebenen Hauptbahnen werden zumeist mit der Stromart der erzeugenden Werke gespeist, während die Schmalspur- und Straßenbahnen meist mit Gleichstrom nach Umformung gespeist werden. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände wird der Anteil des Bahnbetriebes an der gesamten Stromlieferung des Landes zu etwa 210 Mill. kWh im Jahre 1921 geschätzt.

Die Beziehungen zwischen dem Kohlenverbrauch sowie dem Verbrauch an elektrischer Energie und den geleisteten Zugkilometern und Tonnenkilometern waren hinsichtlich des Kohlenverbrauchs verhältnismäßig leicht aufzustellen. Hingegen ergaben sich Schwierigkeiten aus dem Umstande, daß die Meßstelle der elektrischen Energie an verschiedenen Punkten eines Betriebes gewählt wird. Bei einigen Bahnen ist dies die Sammelschiene des Kraftwerks, bei andern die Transformatoren- oder Umformerwerke oder auch die Fahrleitung, in selteneren Fällen sogar der Bahnmotor. In dem schweizerischen Bericht ist bei den einzelnen Bahnen die Art der jeweils gewählten Meßstelle angegeben. Genaue spezifische Verbrauchzahlen kann man jedoch daraus nicht ableiten. Eine Zusammenstellung der spezifischen Zahlen ohne Berücksichtigung der erwähnten Verschiedenheiten ergibt folgendes Bild:

	Kohlenverbrauch		Verbrauch an elektr. Energie	
	kg/Zug-km	kg/tkm	kWh/Zug-km	kWh/tkm
Regelspurbahnen	20,4	0,073	11,0	0,0415
Schmalspurbahnen	11,5	0,15	4,5	0,105
Zahnradbahnen	20,6	0,71	22,5	0,84
Straßenbahnen	—	—	1,13	—
Drahtseilbahnen	—	—	1,42	—

Bei einem Verkehr wie im Jahre 1921 würden zur vollständigen elektrischen Zugförderung der noch mit Dampf betriebenen schweizerischen Bahnen rd. 350 Mill. kWh ab Werk erforderlich gewesen sein, falls man den Energieverbrauch auf 1 tkm für Normal- und Schmalspurbahnen der Rechnung zugrunde legt. Dadurch wären 500 000 t Kohle im Werte von 30 Mill. Fr. ab Grenze erspart worden, der Kohlenpreis zu 60 Fr/t ab Grenze gerechnet. Eine weitere Aufstellung zeigt, daß die Kosten der Kohle gegenüber den Kosten der elektrischen Energie 1921 noch stark überwogen haben. 1922 und 1923 werden sich die Verhältnisse weiter zugunsten der Elektrizität verschieben. Der mittlere Kohlenpreis betrug 1921 170 Fr/t. Die Strompreise der einzelnen Bahnen weichen sehr stark voneinander ab und ergeben einen Mittelwert von 0,045 Fr/kWh ab Werk. Ende 1921 waren für die Einrichtungen der gesamten elektrischen Bahnbetriebe der Schweiz rd. 60 Mill. Fr aufgewandt. [M 36]

A. M a r s c h a l l.

RUNDSCHAU.

Materialkunde.

Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl in der Kälte und Wärme.

An Bau- und Werkzeug-Stähle werden bei tiefen und hohen Temperaturen ständig steigende Anforderungen gestellt. Deshalb faßte W. Oertel[1]) im Werkstoff-Ausschuß des Vereines deutscher Eisenhüttenleute die Ergebnisse der seit 1900 bis Ende 1922 bekanntgewordenen Veröffentlichungen über die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl kurz zusammen und kennzeichnete an ihnen den Einfluß einiger Legierungsbestandteile.

Da es hier nur möglich ist, eine Übersicht über diesen wertvollen, 23 Jahre umfassenden und mit Abbildungen und Schaulinien versehenen Bericht zu geben, so muß wegen aller Einzelheiten auf ihn selbst und auf die ihm angefügte 54 Arbeiten nachweisende Quellenangabe verwiesen werden. Oertel bespricht: 1. Die Versuchsanordnungen, 2. die durch den statischen Zerreißversuch ermittelten Festigkeitseigenschaften, 3. die Härte, 4. die dynamischen Eigenschaften.

Versuchsanordnungen.

Alle Versuchseinrichtungen sind neuerdings so getroffen, daß die Proben nicht aus dem Wärme- oder dem Kältebade entfernt zu werden brauchen, damit sie während des Versuches keiner ungewollten Temperaturveränderung ausgesetzt sind. Von den als Wärmequellen dienenden Öfen wird den elektrischen meist vor den mit Gas geheizten der Vorzug gegeben, weil sie leichter zu handhaben und zu regeln sind. — O. Reinhold versuchte unmittelbare Widerstandserhitzung von Probestäben für Zerreißversuche, indem er diese durch Kurzschlußschaltung in einem starken Stromkreis erhitzte und die Querhäupter der Zerreißmaschine durch Guttaperchaunterlagen von einander isolierte. Zu Wärmebädern dienten Luftbäder, in denen die Prüfstäbe vor Oxydation durch Stickstoff, überhitzten Wasserdampf, Naphtalindämpfe oder durch galvanische Überzüge bewahrt wurden. Auch Gas- und Flüssigkeitsbäder werden verwandt.

Zu Kältemischungen diente Eiswasser, Kohlensäure, flüssige Luft usw. Wagerecht angeordnete Probestäbe wurden senkrechten zur Vermeidung von Wärmeströmungen vorgezogen. Rührer waren in Flüssigkeitsbädern schwer anzubringen und bei Feinmessungen hinderlich. Die Ableitung der Wärme durch die Einspannvorrichtung beim Zerreißversuch wurde durch Erwärmen der Zugstangen der Zerreißmaschine oder durch engere Wickelung der Heizdrähte an den Enden oder durch besondere Bauweise des Ofens verhindert. Im elektrischen Vakuum-Röhrenofen prüften W. Rosenhain und J. C. W. Humfrey die Zerreißbarkeit dünner Bleche und schützten sie so vor Oxydation oder vor der Gasdiffusion. Den schon 1896 von R. C. Carpenter verwendeten Gasofen verbesserte 1921 G. Welter. Der Kohlenrohr-Kurzschlußofen von E. L. Dupuy diente zur Erhitzung von Zerreißproben oberhalb 1250 °C. Eine Packung von Weicheisenspänen schützte die Probe vor dem Zementieren. Kugelfallproben nahm J. F. Kayser in einem Widerstandsofen vor. Die Elastizitätsgrenze untersuchte A. Martens mit Hilfe einer Spiegeleinrichtung als erster. G. Welter schützte die Spiegel vor dem aufsteigenden warmen Luftstrome, indem er sie unter dem Ofen anbrachte. Die Meßfedern und Spiegel kühlte H. Edert mit einem schwachen Preßluftstrom und schützte sie so vor Oxydation. — Die Bruchfestigkeit und Streckgrenze bestimmte H. J. French mit einem zweiteiligen Rahmen aus Aluminium. — Zur Temperaturmessung von Luftbädern dienten meist Thermoelemente, bisweilen, vor allem bei Flüssigkeitsbädern, Thermometer. „Die sichersten Messungen werden erzielt, wenn neben dem Prüfstab ein Vergleichstab der gleichen Abmessung in das Wärme- bzw. Kältebad eintaucht, der in einer Bohrung durch seine Längsachse das Thermoelement aufnimmt."

Die Ermittlung der Festigkeitseigenschaften durch den statischen Zerreißversuch.

Die Festigkeitseigenschaften weichen Eisens untersuchten R. A. Hadfield, R. S. McPerrhan, P. Goerens und G. Hartel, sowie L. Guillet und J. Cournot. Oertel gibt in seinem Bericht eine graphische Darstellung der von diesen Forschern ermittelten Eigenschaften (Bruchfestigkeit, Einschnürung und Dehnung, Brinell-Härtezahlen und die Zahlen über spezifische Schlagarbeit) weichen Eisens mit 0,10 vH C in der Kälte und Wärme. Für ein weiches Eisen mit 0,045 C, 0,07 Si, 0,005 S, 0,004 P, 99,82 Fe gibt Hadfield die Zerreißfestigkeit wie folgt an: bei + 80 ° 31 kg/mm², — 88 ° 37 kg/mm², — 100 ° 48 kg/mm², — 193 ° 70 kg/mm², 0 ° absolut = rd. 110 kg/mm². Sie nimmt also unterhalb des Gefrierpunktes schnell zu, das Eisen wird dabei sehr brüchig und verliert völlig seine Bildsamkeit.

Bei steigendem Kohlenstoffgehalt und tiefen Temperaturen fanden B. Hopkinson und F. Rogers eine wesentliche Zunahme der Zerreißfestigkeit. Silizium wirkt ähnlich, aber schwächer, 3 vH Si machen den Werkstoff weicher. Si verschlechtert die Dehnung. Welter bestimmte eingehend Bruchfestigkeit, Dehnung, Querschnittsverminderung und Elastizitätsgrenze von Kohlenstoffstahl. Der Gehalt an C und Mn beeinflußt bis zu 400°C die Festigkeit und Dehnung wenig, Unterschiede zeigen sich erst bei 500 °C. Nimmt der Mn-Gehalt zu, steigt bei allen Temperaturen der relative Wert der Festigkeit. Bei gleichbleibendem Mn-Gehalt und steigendem C-Gehalt wurden wesentliche Änderungen der Bruchfestigkeit nicht beobachtet. Wegen weiterer Einzelheiten sei auf Oertels Bericht und Welters[2]) Arbeit verwiesen. E. L. Dupuy untersuchte gegossene und gewalzte Stähle, Bruchfestigkeit und Sprödigkeit zeigten in der Blauwärme zwischen 200 und 300 °C einen deutlichen Höchstwert. Oberhalb 300 °C sinkt die Bruchfestigkeit langsam bis auf Null in der Nähe des Schmelzpunktes. Die Querschnittsverminderung in Abhängigkeit vom C-Gehalt und von der Zerreißfestigkeit ist in einem (auch von Oertel wiedergegebenen) Raumdiagramm dargestellt. Es zeigt Zunahme der Bildsamkeit bis zu 100 °C, Abnahme im Gebiet der Blauwärme und einen zweiten Höchstwert bei rd. 780 °C für Stahl bis zu 0,6 vH C. Im übrigen muß auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

Dupuy erklärt die Gesetzmäßigkeit der Zähigkeitsänderungen bei hohen Temperaturen aus der Verteilung und Anordnung der Gefügebestandteile und aus ihren Eigenschaften bei hohen Temperaturen. Die Zugfestigkeit von Kohlenstoffstählen mit 0,2 bis 1,2 vH C bei 200, 250, 500 und 750 °C zeigt ein Schaubild. Bis 500 °C nimmt die Bruchfestigkeit bei steigendem C-Gehalt zu. Dies widerspricht teilweise den oben mitgeteilten Ergebnissen von Welter. Bei der Prüfung der Festigkeit von Weicheisen fanden Rosenhain und Humfrey bei hohen Temperaturen Änderung der Dehnung und erklären sie aus dem Wechsel allotroper Modifikationen. Nach ihrer Ansicht wirkt die zuerst von Beilby erwähnte zwischenkristalline Substanz entscheidend auf die Zähigkeit und Bildsamkeit des Werkstoffes. Steigende Versuchsgeschwindigkeit verschiebt nach A. Le Chateliers Zerreißversuchen an Stahldrähten die Elastizitätsgrenze und die Bruchfestigkeit in der Kälte in Richtung der fallenden und in der Wärme in Richtung der steigenden Temperaturen. Die Änderung der Zugfestigkeit bei steigender Temperatur bestimmte Rudeloff an Schweißeisen, Gußeisen, Stahlguß und Temperguß. Stahlguß mit 9,16 bis 0,20 vH C von 41 kg/mm² mittlerer Festigkeit und 20 bis 30 vH Dehnung bei Zimmertemperatur zeigt nach Rudeloff folgende Änderungen der Zugfestigkeit in der Wärme:

Temperatur °C		100	200	300	400
Änderung in vH gegen Raumtemperatur	Zugfestigkeit	+ 6	+ 12	+ 10	+ 7
	Bruchdehnung	— 30	— 50	— 33	± 0

Die Streckgrenze nimmt bei steigender Temperatur stetig ab. Für Gußeisen mit 3,56 vH Gesamt-Kohlenstoff, 0,93 vH Mn, 2,650 vH Si, 0,054 vH S und 0,517 vH P und einer Festigkeit von 100 kg/mm² bei 20 °C fand Rudeloff, daß die Bruchfestigkeit sich bis zu 400 °C nicht ändert, von 107 ° bei weiterer Erhitzung fällt und bei 500 ° 68, bei 570 ° nur noch 38 kg beträgt. Nach I. M. Bregowsky und L. W. Spring dagegen bleibt die Festigkeit von Gußeisen mit 3,48 vH Gesamt-C und 2,75 vH Si bis zu 1000 °C gleich und beträgt durchschnittlich 25 kg/mm². Die Zugfestigkeit von Molybdändraht nimmt nach W. P. Sykes in der Wärme mit steigender Korngröße ab. Schwach legierte Stähle zeigen gleiche Festigkeitseigenschaften, wie reine C-Stähle. Ni und Co verzögern bei hohen Temperaturen das Nachlassen der Bruchfestigkeit. Die bei Kohlenstoffstählen in der Blauwärme sich zeigende Abnahme der Bildsamkeit ist nach McPerrhan für einen Cr-Ni-Stahl (mit 0,380 Cr und 2,380 Ni) in das Gebiet höherer Temperaturen verschoben. Ist bei Sonderstählen die Erweichungstemperatur erreicht, so fällt ihre Bruchfestigkeit schnell. Nach McPerrhan verbessert Vanadin-Zusatz die Festigkeit nickel- oder chromhaltigen Baustahles in der Wärme. Schon 0,2 vH V verzögern die Erweichung. Nach S. W. Stratton wirkt Molybdän ähnlich. Perlitische und martensitische Ni- und Ni-Cr-Stähle zeigen abweichendes Verhalten von entsprechenden austenitischen. Mit ihrer Prüfung befaßten sich H. Edert, McPerrhan und C. Welter. Oertel gibt ein Schaubild der Änderungen der Festigkeitseigenschaften eines Ni-Stahles (33,9 vH Ni) in der Wärme nach McPerrhan wieder.

Bei der Temperatur flüssiger Luft (— 190 °C) wirkt nach Hadfield Ni-Zusatz auf reines Eisen verbessernd auf dessen Bildsamkeit und unmerklich auf seine Härte und Festigkeit. Bei — 190 ° haben perlitische, martensitische und austenitische Ni-Stähle erhöhte Festigkeit bei verminderter Dehnung. Reine Manganstähle sind in der Kälte stets sehr brüchig, während die Dehnung von Stählen mit mehr als 14 vH Ni und 5 vH Mn sich nur wenig verringert. Die Zugfestigkeit eines Stahles mit 24 vH Ni, 6 vH Mn und 1,19 vH Co stieg von 80 kg/mm² bei Raumtemperatur auf 133 kg/mm² in flüssiger Luft und seine Dehnung von 60 vH auf 67 vH. Oertel hat die von Hadfield bei 20 ° und — 190 ° bestimmte Dehnung und Festigkeit von Mn-Stahl und Ni-Mn-Stahl schaubildlich zusammengestellt.

Cr, W, Mo verbessern die Schnitthaltigkeit der Werkzeugstähle (Schnellarbeitstähle) durch Verschiebung des Erweichungspunktes in das Gebiet hoher Temperaturen. J. F. Kayser prüfte die physikalischen Eigenschaften solcher Stähle bei hohen Temperaturen, ebenso McPerrhan, der fand, daß die Bruchfestigkeit eines Stahles von 0,68 C, 19,20 W, 3,36 Cr und 0,88 V bis 350 ° ziemlich regelmäßig, dann wenig steigt und von 450 ° ab sichtbar fällt. Auch hochlegierter Schnellstahl ist sehr bildsam, wenn die Erweichungstemperatur erreicht ist. — Die Festigkeit von Schnellarbeitstahl läßt nach A. H. D'Arcambal erst oberhalb 600 °C nach. Schon eine geringe Menge W verschiebt die Erweichung von Kohlenstoffstahl in das Gebiet hoher Temperaturen.

[1]) „Stahl und Eisen" Bd. 43 II (1923) S. 1395 bis 1404.

[2]) Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 230 (1921).

Härte.

Die Härte steigt mit dem Sinken der Temperatur unter 20 °C entsprechend der Festigkeitssteigerung beim Zerreißversuche. Für weiches Eisen mit 0,045 C steigt nach Hadfield die Härtezahl von 90 bei 20 ° auf 266 bei — 182 °C. Die Härte von Stählen steigt, wie Robin fand, mit fallender Temperatur bis zu — 20 ° wenig, dann bis zu — 80 ° deutlich, darauf bei tieferen Temperaturen sehr schnell. Wächst der C-Gehalt, so steigt auch die relative Härte. L. Guillet und J. Cournot bestätigten diese Ergebnisse. Die Härte geglühten Stahles fällt nach Robin bis 100 ° auf einen Mindestwert. Im Gebiete der Blauwärme erreicht sie schnell einen Höchstwert zwischen 200 und 250 °. Erweicht der Stahl, so vermindert sich seine Härte. Werden hochgehärtete C-Stähle über 200 ° erwärmt, so nimmt ihre Härte schnell und ständig ab. Sie steigt bei wachsendem C-Gehalt. Auf die Erweichungstemperatur ist, wie es scheint, der C-Gehalt ohne Einfluß. Alle Stähle haben bei 850 °C nur noch geringe Härte.

A. Kürth bestimmte die Brinell-Härte von Kohlenstoffstählen, weichem Gußeisen und Kruppschem Weicheisen zwischen — 85 ° und + 250 ° und kam zu ähnlichen Ergebnissen wie Robin. Dieser fand für die Härte des Roheisens bei 100 ° einen Mindestwert, bei 250 ° einen Höchstwert, oberhalb 450 ° einen schnellen Abfall der Härte. Kaltverformung steigert die Härte. Kürth fand für Weicheisen, daß die erhöhte Härte kalt verformten Werkstoffes erst nach Einsetzen der Rückkristallisation bei 400 ° verschwindet. Erhöhung des P-Gehaltes verschiebt nach Robin beginnende Erweichung in höheres Temperaturgebiet. Ein Stahl mit 0,5 vH C und 1 vH P erweicht erst bei 400 °. Mit Chrom legierte Stähle zeigen nach Robin beim Fallen der Temperatur unter + 20 ° steigende Härte, weniger deutlich ist das bei Wolfram- und bei Molybdänstahl, am geringsten bei Mehrstoffstählen (Schnellarbeitstählen) mit Vanadiumzusatz. Ein Stahl mit 25 vH Ni, 0,8 vH C und 2,0 vH Cr wurde zwischen — 80 ° und — 185 °C sehr hart und stark magnetisch, er zeigte nach Abkühlen in flüssiger Luft martensitisches Gefüge. Reiner Ni-Stahl mit 27 vH Ni zeigt selbst bei — 190 ° unveränderte Härte. Ni- und Cr-Ni-Baustähle zeigen nach Guillet und Cournot erst unterhalb — 80 ° eine wesentliche Härtesteigerung, sie ist verglichen mit einem reinen C-Stahle selbst bis zu — 190 ° gering. Robin beobachtete keinen oder nur schwachen Härteabfall von Sonderstählen bei 100 ° bis 150 °, ebenso war es mit der Härtesteigerung in der Blauwärme, im Gegensatze zum Verhalten des reinen Kohlenstoffstahles. Schnellarbeitstahl bleibt bis rd. 600 ° gleich hart, wie Robin und auch Kayser feststellten. Stahl mit 25 bis 30 vH Ni wird nach Robin erst oberhalb 1000 ° weich. Kayser zeigte, daß hoher Co-Gehalt die Erweichung von Schnellarbeitstahl stark verzögert, und verglich mit ihm einen Wolframstahl, dessen Härte bald oberhalb 600 ° stark abfällt. „Im Gegensatz zur Härte eines Schnellarbeitstahles bei hohen Temperaturen ist bei Raumtemperatur ein Schnellarbeitstahl nicht härter als ein reiner Kohlenstoff-Werkzeugstahl."

Dynamische Eigenschaften.

Bei der Prüfung der dynamischen Eigenschaften, besonders der Schlagfestigkeit, läßt sich eine Temperaturänderung der Proben, also eine Fehlerquelle, auf dem Wege vom Ofen oder vom Kühlgefäß zur Prüfmaschine nicht vermeiden.

Den Einfluß der Temperatur auf die spezifische Schlagarbeit von weichem Handelsflußeisen mit 0,08 vH C und 0,4 vH Mn prüften P. Goerens und G. Hartel. Sie fanden einen Höchstwert bei — 25 ° und bei + 600 °C, einen Mindestwert bei + 450 °C. Die Biegewinkel der Proben lassen den Einfluß der Temperatur besser erkennen, so daß ein Vergleich der Biegewinkel zur Kennzeichnung der Zähigkeit eines Werkstoffes empfohlen wird. Die Kerbzähigkeit vergüteter weicher Stähle zwischen — 80 und + 780 ° ist unterhalb + 20 ° sehr gering, fällt mit sinkender Temperatur und ist, wie Charpy fand, bei — 50 ° praktisch Null. Sie nahm, ähnlich wie die Zerreißfestigkeit, zwischen + 100 ° und 150 ° zu und nimmt zwischen 400 ° und 500 ° (nicht wie die Zerreißfestigkeit schon zwischen 250 ° bis 300 °) ab und bessert sich bei gleichzeitig zunehmender Bildsamkeit schnell oberhalb 500 °. Manganzusatz zu C-Stahl scheint Schwankungen der Werte der spez. Schlagarbeit abzuschwächen. Die Schlagbiegefestigkeit bei hohen Temperaturen untersuchten L. Guillet und L. Révillon mit gleichen Ergebnissen wie andere Forscher. Die spezifische Schlagarbeit von C-Stählen wächst nach O. Reinhold bei abnehmendem C-Gehalt zwischen 400 ° und 500 ° und fällt mit zunehmendem C-Gehalt oberhalb 500 °. Stahl mit 0,06 vH C hatte bei 630 ° und bei 20 ° fast die gleiche spezifische Schlagarbeit, sie betrug dagegen bei einem Stahl mit 0,4 vH C bei 630 ° das Fünffache der bei 20 ° gefundenen.

Die Wirkung der Auftreffgeschwindigkeit des Fallbären auf die Schlagfestigkeit von Stählen hat nach Robin bis zu 400 °C keinen Einfluß auf die spezifische Schlagarbeit. Diese wächst dagegen oberhalb 400 ° bei zunehmender Auftreffgeschwindigkeit. — Für die Staucharbeit dreier verschiedener C-Stähle bestimmte Robin bei 300 ° einen Mindestwert, bei 500 ° einen Höchstwert. Die Bildsamkeit, gemessen an der tonnenförmigen Ausbuchtung der Proben, zeigt dagegen bei 300 ° einen Höchstwert und bei 500 ° einen Mindestwert. Robin empfiehlt, „die Schmiedearbeit eines Werkstoffes nicht nach den Werten der Querschnittsverminderung eines Zerreißstabes, sondern besser auf Grund der durch den dynamischen Stauchversuch gemachten Beobachtungen zu beurteilen". Die Zunahme der Brüchigkeit bei 450 bis 500 °C führt Robin auf Bildung spröden β-Eisens und Blaubrüchigkeit zurück. Nach F. Körber und A. Dreyer trifft dies nicht zu, doch geben sie keine befriedigende Erklärung der Erscheinung. Phosphor vergrößert nach Robin die Schlagfestigkeit. Die Kerbzähigkeit beeinflußt ein Zusatz von Cr und Ni zu einem C-Stahl zwischen 450 bis 500 ° nur wenig, sie nimmt erst oberhalb 500 ° bedeutend zu, wie Charpy zeigt. Er fand für Cr-Ni-Stahl und Ni-Stahl bis zu — 80 ° noch Kerbzähigkeiten von rd. 10 mkg/cm². Guillet und Révillon fanden für Ni-Stähle mit 2 Ni und 7 Ni bei 475 ° einen um 100 vH niedrigeren Wert als bei 20 °. Dagegen war bei einem Cr-Ni-Stahl (0,8 vH Cr, 4,38 vH Ni) die Kerbzähigkeit bis zur beginnenden Erweichung gleichmäßig. Ein Chrom-Vanadium-Baustahl und ein hochlegierter Chromnickel-Stahl zeigten nach Edert in der Wärme hohe Stetigkeit der spezifischen Schlagarbeit bis zu 700 °. A. Lautz prüfte die Geschmeidigkeit von Flußeisendrähten auf der Hin- und Her-Biegemaschine und fand bei Temperaturen bis zu rd. 100 ° langsames, dann sehr deutliches Anwachsen bis zu einem Höchstwerte bei 160 ° bis 200 ° und schließlich bei Blauwärme einen Abfall auf einen Mindestwert der Geschmeidigkeit. Bei 300 ° betrugen die Biegezahlen nur die Hälfte und ein Fünftel ihres bei Zimmertemperatur bestimmten Wertes. Edert fand für Cr-Ni-Stahl wesentliche Abweichungen von den für Flußeisen von Lautz ermittelten Werten. Schon schwach chromnickelhaltiger Stahl zeigt nicht mehr die ausgeprägte Abnahme der Biegefestigkeit in der Blauwärme, die Schaulinie verläuft hier fast wagerecht bis zur beginnenden Erweichung und steigt dann langsam. [M 86] Dr. Nd.

Glastechnik.

Die deutsche Glasindustrie im Jahre 1923.

Im Anschluß an die in Z. 1924 Heft 1 bis 4 veröffentlichte Chronik 1923 bringen wir die folgende willkommene Ergänzung:

Neueinstellung. Nur schrittweise setzt sich die Absicht der Führer der deutschen Glasindustrie durch, die handwerkmäßige Ausübung der Herstellungsverfahren zu verlassen, die Betriebe der einzelnen Fachgruppen von den Fesseln unbegründeter Geheimniskrämerei und veralteter Herstellungsverfahren zu befreien, die gesamte Fabrikation auf den Boden der wissenschaftlichen Forschung zu stellen, sowie jede nur mögliche Anlehnung an die übrigen Zweige der Technik zu suchen. Abgesehen von wirtschaftlichen und sozialen Hindernissen wurde diese Neueinstellung durch den Mangel an genügend theoretisch und praktisch geschulten Kräften erschwert. Mangelndes Verständnis für die Ziele der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit und der Druck der Zeitverhältnisse setzten sich der Entwicklung der 1922 gegründeten Deutschen Glastechnischen Gesellschaft entgegen. Bei der großen Bedeutung, die Glas als Werkstoff unter allen industriellen Erzeugnissen einnimmt, wird sich indessen der gesunde Aufstieg der einmal eingesetzten Bestrebungen nicht aufhalten lassen.

Glasforschung. Die wissenschaftliche Untersuchung der Glasmasse liegt vorwiegend in den Händen der optischen Fachgruppe. Soweit aus dem heutigen Stande der Glas-Physik und -Chemie geschlossen werden kann, sind neue Gläser mit grundlegend geänderten Eigenschaften nicht mehr zu erwarten. Der gesamte Kreis der bekannten Elemente im Zusammenhang mit den Glasverbindungen ist durchforscht. Den heute schon mit voller Sicherheit laboratoriumsmäßig herstellbaren Glasarten wird noch manches technische Gebiet erschlossen werden müssen. Die besonders im vergangenen Jahre durch geschickte Reklame des Auslandes angepriesenen unzerbrechlichen Gläser haben thermisch und mechanisch Eigenschaften (Elastizität, Zugfestigkeit, Sprödigkeit) sowie chemische Zusammensetzungen, die der deutschen Industrie schon längst bekannt sind und unter dieser täuschenden Bezeichnung große Vorsicht in der Beurteilung fordern. Die Erfindung eines wirklich unzerbrechlichen Glases bleibt daher eine Aufgabe der Zukunft. Für die praktische Verarbeitung des Glases auf maschinellem Wege hat sich die Viskositätsbestimmung der flüssigen Glasmasse im höheren Temperaturbereich und bei wechselnder Zusammensetzung als wichtig erwiesen.

Im Vordergrund aller technischen Wandlungen steht die Mechanisierung der Glasbearbeitung. Sie geht darauf hinaus, die Vorgänge des Blasens, Pressens, Ziehens und Gießens nicht mehr allein durch die Glasmacherkunst, sondern durch Maschinen zu beherrschen. So rege der deutsche Erfinder auf andern Gebieten tätig war, so wenig hat sich die Glasindustrie infolge ihrer Zurückhaltung ihn zunutze gemacht. Unter den Patenterteilungen in den Klassen der Glastechnik treten überwiegend die Anmeldungen des Auslandes, insbesondere der Amerikaner hervor. Die Lizenzen für die ausländischen Patente sind aber so kostspielig, daß sich nur kapitalkräftige Konzerne oder Verbände die Einführung von neueren maschinellen Verfahren leisten konnten. Insbesondere gilt dies für die Anwendung von Röhrenziehmaschinen und Tafelglasziehmaschinen (Fourcault). Es liegen auch Erklärungen vor, daß die mit großen Kosten aus dem Ausland s. Z. erworbenen Lizenzen für Flaschenblasmaschinen (Owens) mit der fortschreitenden Technik des Auslandes nicht Schritt halten konnten und dadurch entwertet sind. Besondere Gießverfahren für Dünnglas haben eine Ausbildung erfahren, die Hoffnung auf Erfolg erweckt.

Wesentliche Neuerungen sind im Ofenbau nicht zu erwähnen. Der Übergang vom Hafenschmelzofen mit unterbrochenem Betriebe zum Wannenofen mit Dauerbetrieb wird auch für feinere Glassorten aus betrieblichen und wärmetechnischen Gründen immer mehr erstrebt. Auf die Verbesserung der Verbrennung von Gas und Luft zielen konstruktive Änderungen der Brenner ab. Sie erheischen eine gründliche Erforschung der Vorgänge bei der Flammenbildung. An der Frage der Wärmeübertragung von der Flamme und dem Mauerwerk des inneren Ofenraums durch Leitung, Strahlung und Konvektion an das Schmelzgut wird versuchsmäßig gearbeitet, ohne daß bisher eindeutige Ergebnisse erzielt wurden. Die Isolierung von Wärmespeichern (Regenerativkammern) und Brennern sowie der Nebenöfen hat gute Ergebnisse gebracht. Es steht zu erwarten, daß der Ofenbau infolge einer engen Zusammenarbeit von Theorie und Praxis noch große

Wandlungen erfahren wird. Das Weitestgehende aller Vorschläge stellt ein nur aus Glas bestehender Aufnahmebehälter für die flüssige Glasmasse dar. In Vorbereitung ist der Übergang der Ofenbeheizung von heizschwachem Generatorgas zu Starkgasen (Koksofengas, Wassergas, Doppelgas) zum Zwecke der spezifischen Leistungssteigerung. Die Anpassung der neuen Betriebstoffe an die geänderte Bauart der Öfen auf empirischem Wege ist aussichtslos.

Wie in andern Industriegruppen ist der Pflege der Wärmewirtschaft in Glashütten eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. Die Wärmetechnische Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie, Frankfurt a. M., behandelt den reichhaltigen Arbeitstoff im Verkehr mit den ihr angeschlossenen Mitgliedhütten durch planmäßig durchgeführte Einzelmessungen und größere Dauerversuche. Diese erstreckten sich nicht nur durch Anwendung einer praktischen Meßtechnik (Gasanalyse, Temperaturbestimmungen, Gasdruck und -menge, Feuchtigkeitsgehalt, Teer und Staub) auf die Vorgänge der Wärmeerzeugung, sondern auch auf die sorgsame Verfolgung des Wärmeverbrauchs innerhalb der Betriebe. Die Vielseitigkeit der Verbrauchstellen in Form von Schmelz-, Kühl-, Temper- und sonstigen Nebenöfen zwang zur planmäßig geteilten Arbeit mit nachgewiesenem Nutzen im Brennstoffverbrauch. Bei der Vergasung der Ersatzbrennstoffe für Steinkohle machte sich die Glasindustrie die Erfahrungen der auf diesem Gebiete parallel arbeitenden Sonderfachmänner zu eigen. Die Beseitigung des noch zahlreich vertretenen Siemens-Generators mit natürlichem Zug ist im Flusse.

Neben der bisher meist in Händen der Meister liegenden Betriebsführung ist eine große Zahl von Glashütten dazu übergegangen, eine Betriebsorganisation unter Leitung von Ingenieuren und Chemikern zu schaffen. Laboratorien für die Untersuchung der Rohstoffe und des fertigen Glases sowie die Bedürfnisse der Herstellungsverfahren wurden eingerichtet. Die Werke sind dazu übergegangen, ihre Erfahrungen zu sammeln und durch Einstellung von technischen Apparaten und Instrumenten (Gasuntersuchungs-Apparate, Druckmesser, Temperaturmesser, aufzeichnende Geräte) den gesetzmäßigen Verlauf der Betriebsvorgänge zu überwachen und die für den sparsamsten Betrieb erforderlichen Bedingungen zwangläufig einzuhalten. Dieses Vorgehen hat naturgemäß zur Verbindung mit der Außenwelt in technischen Angelegenheiten geführt.

Die für den Meinungsaustausch in der Glastechnik unbedingt erforderlichen literarischen Veröffentlichungen haben im Jahre 1923 in einer erfreulichen Weise zugenommen. Eine Reihe von guten Einzelschriften über besondere Abschnitte aus dem Fachgebiet Glas erschienen bei verschiedenen Verlagsanstalten. Zum ersten Male gab auch diese Zeitschrift ein Fachheft „Glastechnik" (Nr. 21) heraus. Als Beilage zu der Fachzeitschrift „Sprechsaal" im Verlage von Müller & Schmidt, Coburg, erschienen die von der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft herausgegebenen Glastechnischen Berichte. Neben bemerkenswerten Abhandlungen finden sich darin ausführliche Besprechungen von Neuerscheinungen, denen der Glashütteningenieur sein Interesse zuwenden muß, um auf dem Laufenden zu bleiben. Zur Herausgabe des demnächst in zweiter Auflage erscheinenden Handbuches von Dralle „Die Glasfabrikation" haben sich eine Anzahl von Mitarbeitern aus der Praxis bereit erklärt. [M 89] H. Maurach.

Bergbau.

Verhütung von Bremskammerbränden bei Druckluft-Förderhaspeln.

Zum Verhüten von Bränden und Explosionen, die durch das Selbstabbremsen der Förderhaspel seitens der Bergleute beim Ausfahren durch Heißlaufen der Bremsklötze erfolgen können, wird eine selbsttätige Absperrvorrichtung für die Druckluftzufuhr verwendet. Die Einrichtung des Schnellschlußventils von E. Wolff, Essen, die F. Wedding näher beschreibt[1]), besteht nach Abb. 1 aus einer mit der Trommelwelle *a* durch die Spindel *b* des Haspels verbundenen Wandermutter *c*, deren Stellschraube *d* einen um einen Festpunkt drehbaren Hebel *e* berührt, mittels dessen durch die Hebelstange *f* ein Handhebel *g* freigegeben wird; der

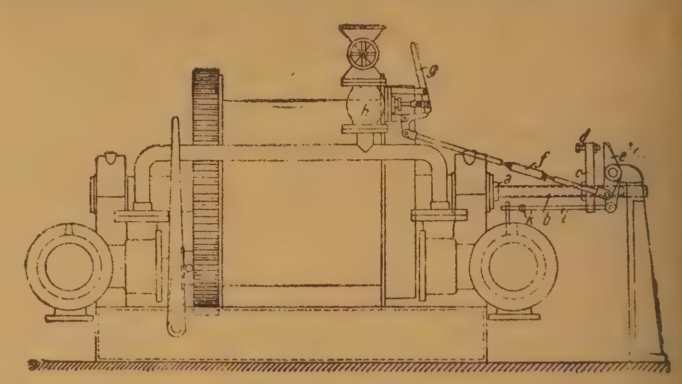


Abb. 1. Haspel mit Schnellschlußventil.

Hebel *g* hält die Druckfeder des Ventiles *h* gespannt und sperrt gleichzeitig die Luftzufuhr zum Haspel ab. Bei entgegengesetzter Drehung des Haspels stößt die nach links bewegte Stellschraube *c* nach Erreichung des Füllortes auf den Nocken *k*, wodurch der Handhebel *g* des Einlaßventiles wieder freigegeben wird. Bei Verwendung von Köpescheiben wird das Ventil im Schachte selbst angeordnet. Um den Selbstanlauf des Haspels bei zeitweiliger Unterbrechung der Preßluftzufuhr zu verhüten, benutzen einige Ruhrzechen ein Selbstschlußventil, Abb. 2, der gleichen Fabrik, dessen Ventilkegel in dem Rotgußzylinder *a* als Druckkolben *b* mit der Druckfeder *c* ausgebildet ist und einerseits mit der Außenluft durch einen Entlüftungshahn *d*, anderseits mit dem unteren Ventilraum durch eine Bohrung *e*, Aussparung *f* und Öffnung *g* verbunden ist. Der Ventilkegel berührt im Betriebe den Zylinderdeckel *h*. Bei Ausbleiben der Druckluft wird jedoch der Kegel durch die Feder auf den Sitz *i* gepreßt, wodurch die Öffnungen *f* und *g* wieder frei gegeben werden; die Preßluft kann erst nach Freigabe der Bohrung *e* wieder in den Zylinder *b* gelangen und bleibt so lange abgesperrt, bis der Haspelwärter den Hahn *d* öffnet, und bis die Preßluft durch den oberen Kanal (mit größerem Querschnitt) als *e* ins Freie ausströmen kann, den Ventilkegel hochhebt und die Öffnung *g* wieder von neuem verschließt. [R 30] Rb.

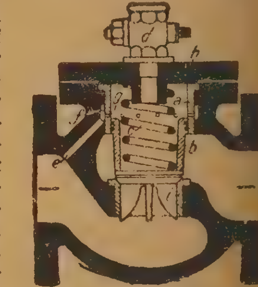


Abb. 2. Selbstschlußventil.

Berichtigung.

Neue Wege der Energiewirtschaft. Von St. Löffler, Charlottenburg (statt unrichtig: Dr. Löffler). Infolge eines bedauerlichen Versehens sind auf S. 167 die Bildvorlagen, nicht die Unterschriften, zu Abb. 12 und 13 des in Nr. 8 veröffentlichten Aufsatzes verwechselt worden.

[1]) „Glückauf" Bd. 59 vom 13. Oktober 1923.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

„Hütte", „Eisenhütte", „Betriebshütte".

Der V. d. I.-Verlag G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, hat nunmehr auch den Vertrieb der „Hütte", „Eisenhütte" und „Betriebshütte" sowie der „Starkstromtechnik", des Taschenbuchs für Berg- und Hüttenleute und des Handbuchs für Eisenbetonbau übernommen; die Mitglieder des V. d. I. können jetzt auch diese Lehrbücher durch den V. d. I.-Verlag zu einem Vorzugspreise beziehen. [B]

Vorlesungen über technische und wirtschaftliche Grundlagen der Textilindustrie. Von Dr. Weiß, neubearbeitete Auflage des Werkes „Textiltechnik und Textilhandel". Leipzig-Wien 1923, Franz Deuticke. Preis Gm. 15.

Schon die Titeländerung weist darauf hin, daß in der Neuauflage nicht bloß Technik und Handel, sondern auch die wirtschaftliche Seite, die „Betriebsgestaltung" der Textilindustrie richtig betont ist. Ebenso vorteilhaft, wie es für den Betriebsleiter und Volkswirt ist, einen tieferen Einblick in die Gewinnung und Verarbeitung der verschiedenen Spinnstoffe zu erhalten, ist es auch für den Techniker von Nutzen, die Quellen zu erforschen und die Wege zu verfolgen, über welche die Werkstoffe und Erzeugnisse der Fasern verarbeitenden Gewerbe dem täglichen Bedarf zugeführt werden. Zur Einführung in beide Gebiete der Textilindustrie ist das Werk gleich gut geeignet. Es ist in der vorliegenden Fassung in erster Linie als Leitfaden für die Schüler des betriebswissenschaftlichen Seminars an der Hochschule für Staats- und Wirtschaftswissenschaften des Verfassers zu Detmold entstanden. Die recht vollständig zusammengestellten Quellenangaben ermöglichen aber auch gegebenenfalls ein tieferes Eindringen in das gesamte Gebiet.

Wenn auf der einen Seite die Technik in wohltuender klarer Kürze behandelt ist, so bieten die Abschnitte über den Handel und über die Betriebslehre der faserstoffverarbeitenden Zweige eine gute Einführung in diese Zweige der Wissenschaft. Es sei in dieser Hinsicht namentlich auf die Schlußbetrachtung „Technik und Wirtschaft in gemischten Werken des Faserstoffgewerbes" verwiesen. Hier wird ein Unternehmen untersucht, wo Faserstoffe versponnen, Gespinste verwoben und die rohen Garne und Gewebe gebleicht, gefärbt, bedruckt und ausgerüstet werden.

Der reiche Schatz der Abbildungen (gute schematische Skizzen) ist im wesentlichen der alte geblieben. Die Ausstattung ist gut. Das Werk kann für den eingangs gekennzeichneten Zweck warm empfohlen werden. [B 6] Ernst Müller.

Adreßbuch der amtlichen Bahnspediteure. Nach amtl. Material zusammengestellt v. d. Vereinigung Deutscher Bahnspediteure. Berlin 1923, H. Apitz. 152 S. Preis Gm. 2.

Osnabrücker Kupfer- und Drahtwerk 1873—1923. Bearbeitet von Conrad Matschoß. Osnabrück 1923. Mit Federzeichnungen und Wiedergabe von Originalradierungen von J. C. Turner.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 10 SONNABEND, 8. MÄRZ 1924 BD. 68

Österreich.

INHALT:

Produktionsverhältnisse der mechanischen Industrien in Österreich.

Von Generaldirektor Ing. Oskar Taussig, Wien.

Infolge des Friedens von St. Germain wurde zugleich mit dem alten österreich das Gefüge der österreichischen mechanischen Industrien zertrümmert. Dank der Anpassungsfähigkeit der Industrie und der Gunst der Lage Oesterreichs entwickeln sich aus einem notwendigen Übergangszustand dennoch die mechanischen Industrien wieder in aufsteigender Linie.

Entwicklung der alten österreichischen Industrie.

Um die gegenwärtige Verteilung der mechanischen Industrie in Österreich zu verstehen, muß man sich wenigstens den Zustand vor dem Kriegsende vergegenwärtigen.

Es ist allerdings schwer, der Lockung zu widerstehen, auf die Darstellung des allmählichen Werdens dieser Industrie noch weiter zurückzugreifen, weil der alte österreichische Staat ein sehr anziehendes gleichzeitiges Wirken verschiedener industriebildender Ursachen bedingte. Die ursprünglichsten Wurzeln des Maschinenbaues, der Bergbau, brachten drei Gruppen von einschlägigen Industrien hervor, die sich um das örtliche Vorkommen von Kohle und Erz lagerten: die böhmische, die mährisch-schlesische und die steirische Industrie. Anderseits aber schuf der Zentralismus Maria Theresias und die folgenden auf Hebung des Gewerbfleißes hinzielenden Bemühungen Josefs II. in Wien und um Wien zahlreiche Manufakturen, welche wohl nicht maschinentechnischer Art waren, aber zu ihrer Instandhaltung und Erweiterung mechanische Werkstätten brauchten und beschäftigten, und so einen sehr guten Pflanzboden für kleinere Maschinenfabriken und Gießereien ergaben. Der außerordentlich kennzeichnende und für den technischen Genius besonders in Österreich bedeutungsvolle Zeitabschnitt der großen Eisenbahnbauten rief in der Nähe von Wien, als dem Mittelpunkt des finanziellen Lebens Österreichs, eine Anzahl von Lokomotivfabriken hervor.

Die merkwürdige Rolle, die Wien als eigentlich einzige Großstadt in Österreich spielte, drückt sich auch in der Weise aus, daß es naturgemäß der Sitz aller Zentralbehörden war, die zum Teil als Großabnehmer stark in Betracht kamen. Der Bedarf der Eisenbahnen sowie der Militärverwaltung wurde am Sitze dieser Behörden vergeben und bot so eine Ursache der Bevorzugung Wiens und seiner Umgebung zur Errichtung von Waggonfabriken, Munitionsfabriken und andern ähnlichen Betrieben. Nicht zu vergessen ist, daß jede Großstadt einen Riesenbehälter von arbeitenden, vermittelnden und kaufenden Menschen darstellt, welcher Umstand für die Wahl der Standorte der neuzeitlichen Elektroindustrie sehr stark ins Gewicht fiel. Die in der jüngsten industriellen Entwicklung hinzugekommene Automobilindustrie stützte sich recht naturgemäß auf den großen Reichtum an geschulten Arbeitskräften Wiens und seiner Umgebung sowie auf den Umstand der in der Großstadt vorhandenen Käuferschichten für diese Erzeugnisse, und fand so zum weit überwiegenden Teile hier ihre Heimat.

Anderseits bildete der einzige bedeutende Seehafen Österreichs, Triest, zusammen mit dem nahegelegenen Kriegshafen Pola ein Sondergebiet des Schiffbaues, der sich in Pola, Triest und Monfalcone bedeutungsvolle Arbeitstätten schuf. Merkwürdig ist es, daß die Donau, die als Verkehrsweg sicherlich von großer Bedeutung war und ist, bis vor nicht langer Zeit keine Veranlassung zur Errichtung besonders bemerkenswerter Schiffbauanstalten bot

Alle diese Umstände brachten es mit sich, daß die uns hier interessierenden Industrien in Österreich vor dem Kriegsende etwa folgende Grundverteilung zeigten:

In Böhmen, das große Kohlenreichtümer besitzt und für frühere Begriffe auch entsprechende Erzvorkommen besaß, entstand eine große Hüttenindustrie mit ihr angeschlossenen oder ihr dienenden Maschinenfabriken, welche ihrem Ursprung und Zwecke nach sich mit Großmaschinenbau, Großkraftmaschinenbau und Verarbeitung von Walzprodukten, also Kesselbau und Brückenbau, befaßten. Das Gleiche vollzog sich in Mähren, begünstigt und gestützt auf die in der Nähe von Brünn und an der mährisch-schlesisch-polnischen Grenze gelegenen Erz- und Kohlenlager. Es ist hervorhebenswert, daß die steiermärkische Industriegruppe trotz des großartigen Aufblühens der dortigen Hüttenindustrien viel weniger imstande war, eine gleichwertige Maschinenindustrie hervorzurufen. Die beiden erstgenannten Maschinenbauzentren waren derart bedeutend, daß ihnen im übrigen Österreich, auch in Wien und Umgebung, keine gleichrangigen Mitbewerber erstanden, so daß mehr oder weniger die gekennzeichnete Gruppe des Maschinenbaues nur in ihnen gesammelt verblieb.

Gleichsam als Gegengewicht aber entwickelte sich in Wien und Umgebung, wie erwähnt, der Lokomotivbau, der Waggonbau und vor allem die neuzeitlichen Zweige der elektrischen Starkstromtechnik und des elektrischen Apparatenbaues und der Autoindustrie um so auffallender, ebenso die Erzeugungsstätten für Heeresbedarf, sofern sie nicht besonderen hüttenmännischen Einschlag hatten, wie die Erzeugung von Panzerplatten und Großgeschützen.

Die so gekennzeichneten Standorte der Hauptindustrien bildeten die natürliche Grundlage für die ihnen zugeordneten eigenen oder unabhängigen Hilfsindustrien.

Das große einheitliche Zollgebiet und das einheitliche, wohlabgestimmte Eisenbahn-Verkehrsnetz brachten einen langanhaltenden Zustand stetiger Entwicklung in diesem Sinne mit sich, der diese eigentümliche Verteilung als ganz natürlich empfinden ließ.

Schäden der Nachkriegszeit.

Mit diesem vom ehemaligen Standpunkt aus durchaus natürlichen Aufbau geriet die österreichische Maschinenindustrie in die Zeit der Beendigung des offenen Krieges. Mit einem Schlage wurde aus dem großen Wirtschaftsgefüge der Komplex der böhmischen und mährisch-schlesischen Industrie herausgerissen, so daß das verbleibende Österreich bis auf wenige Ausnahmen keine Stätten des Großmaschinenbaues und Kesselbaues besaß. Hingegen hatte es in einem gewissen Übermaße Lokomotivfabriken, Automobilfabriken und Elektroindustrie. Besonders unharmonisch war der Überschuß an Fabriken für Heeresbedarf, da diese in der knapp vorangegangenen Kriegszeit eine begreifliche aber übermäßige Erweiterung erfahren hatten, und nunmehr ihres Zweckes vollkommen beraubt waren. Das selbstverständ-

liche Ergebnis der Durchführung der Friedensverträge ist also für die österreichische mechanische Industrie ein äußerst unharmonischer Zustand, der teils durch große Lücken, teils durch Übermaße gekennzeichnet ist.

Es ist selbstverständlich, daß dieser Umstand jene Schwierigkeiten, welche die Nachkriegszeit in jedem Lande hervorbrachte, noch wesentlich verschärfte.

Dazu kamen noch andre Umstände. Die Freizügigkeit der Menschen innerhalb des alten Österreich hatte auch eine gewisse Überlieferung in der fachlichen Ausbildung der Industriearbeiter mit sich gebracht. Böhmen, Mähren, Polen und die südslavischen Länder brachten alljährlich sehr geschätzte Eisengießer, Kesselschmiede und Brückenbauarbeiter hervor nebst andern Kategorien der Baugewerbe, die uns hier nicht interessieren. Diese wanderten in die Maschinenbaubezirke ein, zum großen Teil in die Großstadt Wien, die stets ein wirksamer Anziehungspunkt war. Im Augenblicke des Zusammenbruches jedoch setzte eine plötzliche Abwanderung dieser Arbeitskräfte ein, da das Verbleiben in dem unglücklichen und von seinen Nachbarn feindselig behandelten und hilflosen Lande nur Nachteile zu bieten schien. Wuchs doch hier von Tag zu Tag Verarmung und Hunger, während in den Nachbarländern durch die nationale Bewegung ein neuer Aufschwung lockte und in zahlreichen neuen, die Unabhängigkeit dieser Länder verbürgen sollenden Unternehmungen sich heimatliche Betätigungsmöglichkeiten darboten. So verloren die österreichischen Eisen- und Stahlgießereien, die Kesselschmieden und Brückenbauanstalten ein Heer von tüchtigen Arbeitern.

Die finanziellen Bedrängnisse der österreichischen Industrie sind nicht leicht zu ermessen. Als das erste Land hatte Österreich durch die Hölle der Geldentwertung zu schreiten. Nirgends gab es damals Erfahrungen darin, wie man inmitten einer täglichen, ja stündlichen Entwertung des Geldes seine Selbstkosten zu bestimmen habe, wie man seine eigenen Zahlungsverpflichtungen und wie jene seiner Abnehmer einrichten müsse, wie man Löhne und Gehälter konstruieren müsse, um zwischen den Klippen des Stillstandes und des Ausverkaufes, zwischen Zahlungsunfähigkeit und Ausplünderung, zwischen Lebensmöglichkeit der Beamten und Arbeiter und der Weiterexistenz des Werkes das anvertraute Unternehmen hindurchzusteuern.

Nicht wenig trugen zu den Besonderheiten der österreichischen Lage die sozialen Verhältnisse bei, die indes so merkwürdig, aber für den Nichtösterreicher so schwer verständlich sind, daß man sie im knappen Rahmen dieser Studie wohl erwähnen muß, aber nicht darlegen kann.

Einen weiteren erschwerenden Umstand stellten die staatsfinanziellen Auffassungen dar, die zum großen Teil unter dem Drucke der großen sozialen Verschiebungen entstanden, später aber, auch wo sie von diesen weniger abhängig waren, die Industrie als den am leichtesten zu erfassenden Faktor der Wirtschaft am stärksten treffen wollten und trafen. Die Wirkungen hiervon, insbesondere auf steuertechnischem Gebiete, dauern noch an.

Überstehen der Schwierigkeiten.

Dennoch hat die österreichische Industrie, von der wir hier sprechen, die mannigfachen und großen Schäden, die ihr die beispiellose Verstümmelung des Landes, die Abwanderung von großen Arbeitermengen, die furchtbare und bis dahin ungekannte Wirkung der Geldentwertung, die soziale Unruhe und die staatsfinanzielle Behandlung zufügten, bisher zu überdauern vermocht.

Die Ursachen davon sind naturgemäß nicht einheitlich. In erster Linie scheint mir die immer von neuem sich bewährende Anpassungsfähigkeit des österreichischen Menschen wesentlich zu sein. So wie beim Ausbruch des Krieges die österreichische Industrie in erstaunlichster Weise eine in ihrer Raschheit und Intensität nicht vorauszusehende Umstellung durchführte, so ging sie unverzüglich nach Kriegsende daran, die Folgerungen aus den Ereignissen zu ziehen.

War das eigene Land in einem Maße verstümmelt worden, wie dies außer Ungarn kein Staat mitgemacht hatte, war der eigenen Maschinenindustrie wie jener keines zweiten Landes der innere Zusammenhang und der Markt zugleich zerstört worden — die österreichische Industrie ging daran, die Lücken zu schließen, neue Märkte zu finden. Der Österreicher war im Maschinenbau nur sehr wenig exportgewohnt; um so schwieriger wurde es ihm, in dem Wirrsal der Währungsschwankungen, der Einfuhrverbote und der Transportbehinderungen seinen Weg ins Ausland zu finden, vorwiegend in ein Ausland, das sich ihm in den neuen Nationalstaaten meistens besonders feindselig gegenüberstellte, und wo er neben dem Wettbewerb durch die deutschen Reparationslieferungen meist noch eifervolle und bevorzugte Verfechter der Ententeansprüche vorfand.

Allein die Anpaßfähigkeit an die Bedürfnisse, die Beweglichkeit in bezug auf Zahlungsvereinbarungen, ein gewisses Vertrauen in die Entwicklung der neuen Staaten half wesentlich mit, in oft neuen Formen dennoch einen Teil des ausländischen Bedarfes für die österreichische Industrie zu retten.

Die geographische Lage ist ein zweiter, wie man deutlich zu erkennen vermag, wesentlicher Umstand der Erhaltung der österreichischen Industrie. Am deutlichsten tritt diese Wirkung der Lage an dem Schicksal und der Entwicklung Wiens in die Erscheinung. Unmittelbar nach dem Zusammenbruche war man geneigt, Wien als Unglück für das neue, so kleine Österreich anzusehen, als eine Art Krankheit, an der dieser armselige Körper zugrunde gehen müsse. Man war geneigt, der von den Nachfolgestaaten der alten Monarchie getragenen These zuzustimmen, daß Wien nur als Residenzstadt, als Verwaltungszentrum habe leben können, nur als ein von der Arbeit der andern Teile der Monarchie zehrender, prunkvoller, jetzt aber unnützer und dem Untergange geweihter und Österreich hinabziehender Organismus zu werten sei.

Es kam aber ganz anders. Wien, das hinsichtlich seiner Bewohnerzahl ein volles Drittel des neuen Österreich bedeutet, hinsichtlich seiner Steuerkraft und Energiesumme noch weit mehr, lebt sein eigenes kräftiges wirtschaftliches Leben. Nach kurzem heftigem Fieber, das der beispiellos grausamen Amputation folgte, nach kurzem Schwanken regt es heute rüstig seine tausende Betriebe, läßt es seine alten finanziellen und kaufmännischen Beziehungen wirken, ist es der gern aufgesuchte Treffpunkt des Ostens und Westens, ist es der Mittelpunkt vieler vom Westen kommender, von Wien ausstrahlender, nach den neuen Staaten zielender Organisationen. Wien lebt und wird leben; denn es ist nicht durch Zufall entstanden, sondern als im geometrischen Sinne bevorzugter Punkt, weil Schnittpunkt uralter Verkehrslinien. Jedenfalls verbürgen ihm seine jetzige Größe, seine jetzigen Anziehungsmomente und seine jetzigen wirtschaftlichen und verkehrsgeographischen Eigenheiten sicherlich eine bleibende Bedeutung im Wirtschaftsleben des östlichen Mitteleuropas.

Abgesehen davon, daß mit dem leicht erbringbaren Nachweis der günstigen geographischen Lage Wiens der Nachweis für ein Drittel von Österreich erbracht ist, läßt sich aber ein ähnlicher Nachweis auch für das sonstige Österreich führen. Es ist das geometrisch oder geographisch bedingte Durchzugland für eine Reihe von Gütern, die der Norden dem Süden und der Westen dem Osten Europas zu liefern hat, und ist der große Umschlagplatz im Herzen Europas.

Wenngleich diese Umstände durchaus nicht immer eine unmittelbare Förderung der Maschinenindustrie mit sich führen, so bedingen sie doch den Fortschritt in der Gesundung der österreichischen Gesamtwirtschaft und schaffen dadurch die für das dauernde Gedeihen der einzelnen Zweige notwendige allgemeine Lage. Sie bringen aber auch vielfach die unmittelbare Belebung von manchen Zweigen des Maschinenbaues mit sich.

Ein dritter Umstand, der die Erhaltung und Entfaltung der mechanischen Industrien Österreichs bedingte, waren die Versuche der natürlichen Abwehr der Folgen der Staatsverstümmelung. Die alte Monarchie hatte ihre Kohlengruben in Böhmen, in Österreichisch-Schlesien und hatte ihre Ölfelder in Galizien. Es war wirtschaftlich sehr richtig, diese ausgezeichneten Fundstätten von Brennstoffen möglichst rationell zu verwerten und durch entsprechende Frachttarife die geographischen Entfernungen innerhalb der alten Monarchie praktisch zum Verschwinden zu bringen. Man stellte also die ganze Wirtschaft auf diese Brennstofflager ein. So kam es, daß nach vollzogener Abtrennung der neuen Staaten Österreich ohne Brennstoff[1]) dastand. Diese Not, die wegen ihrer willkürlichen Verschärfung und wegen ihrer entsetzlichen Wirkungen geschichtlich besonders festgehalten zu werden verdiente, hat die Veranlassung zu einer Reihe von technischen Maßnahmen gegeben, die der Aufrechterhaltung der hier in Frage kommenden Industrien sehr zugute kamen. Es wurden gleichzeitig drei Aufgabengruppen in Angriff genommen: der Ausbau der Alpenwasserkräfte, der Aufschluß von Kohlenvorkommen in Österreich und die Neuorientierung der Versorgung mit flüssigen Brennstoffen.

Die weitaus wichtigste Tat ist die Inangriffnahme des Ausbaues der österreichischen Wasserkräfte[1]). Für die lange vergeblich gebliebenen Bemühungen Dr. Wilhelm Ellenbogens war mit der Zeit unsrer ärgsten Knebelung durch Verweigerung der Kohlenzufuhren der günstigste Augenblick gekommen. Es ist ein neuer Beweis für die früher ins Treffen geführte Anpassungsfähigkeit der Österreicher, daß es trotz ärgster Finanznöte dennoch gelang, die Mittel für den Ausbau zahlreicher bedeutender Wasserkräfte aufzubringen. Die Wirkung der mit großer und rühmenswerter Energie durchgeführten Arbeiten wird schon im heurigen Jahre beginnen, da von dem neuen Opponitzer Werk Strom nach Wien geleitet werden wird. Andre Werke werden rasch folgen.

Der Ausbau dieser Wasserkräfte gibt aber der mechanischen Industrie ein reiches Arbeitsfeld. Die Turbinenanlagen samt Schleusen, Rechen und Leitungen, die Stromerzeugeranlagen, die Fernleitungen, die Verteilanlagen setzen tausende fleißige Hände in Bewegung. Ein besonderes Kapitel bildet auch die ziemlich nachdrücklich in Angriff genommene Überführung der Bahnen in elektrischen Betrieb[2]).

Der Versuch, im eigenen Lande Brennstoffe zu finden, die uns von unsern Nachbarn verweigert wurden, führte zu namhaften Erweiterungen der wenigen bestehenden Kohlenbergbaue,

---

[1]) Vergl. S. 240, Nachr. Wasserkraftausbau.

[2]) Vergl. S. 288, Dittes

welche allerdings weitaus überwiegend nur junge Braunkohlen bzw. Lignite fördern, und zum Aufschluß von einigen neuen Gruben. Anderseits brachte die Brennstoffnot viele Umgestaltungen von Brennstoff verbrauchenden Anlagen, die Aufbereitung von Rückständen, Spareinrichtungen, die Einleitung geordneter Wärmewirtschaft.

Die Abtrennung Galiziens mit seinen Rohölquellen führte dazu, sich von Galizien als dem naturgemäß weit bevorzugten, fast einzigen Rohöllieferanten freizumachen. An der Donau bei Wien entstehen Anlagen zur Einlagerung, Verarbeitung und Verteilung von flüssigen Brennstoffen und Ölen aus allen Lieferländern. Auch dies belebt die Arbeit unsrer Industrien.

Ein weiterer Umstand sind die weitgehenden Veränderungen in den Währungsverhältnissen der Österreich umgebenden Länder, und zwar sowohl hinsichtlich jener, die Maschinenerzeugnisse ausführen, also im Wesen unsre Mitbewerber sind, als auch hinsichtlich jener, die als Abnehmer in Betracht kommen. Von der aktiven Rolle der österreichischen Industrie habe ich gelegentlich der Anpaßfähigkeit gesprochen. Was aber die andern Lieferländer betrifft, so war es für uns sehr wichtig, daß durch das von der Tschechoslovakischen Republik gewollte Steigen der tschechischen Krone die dort ansässige ausgezeichnete Maschinenindustrie sich lange Zeit selbst aus dem Wettbewerbe vollkommen ausschaltete und durch ihre fast hermetische Absperrung gegenüber dem Eindringen unserer Maschinenbauerzeugnisse unter Anwendung ganz ungeheuerlicher Einfuhrzölle ihrer eigenen Industrie wohl den Inlandmarkt schützte, sie aber durch Gewöhnung an eine unnatürliche Preisbildung um so unfähiger zum Wettbewerb auf dem offenen Weltmarkte machte. Allmählich scheint aber auch hier eine Annäherung an natürliche Verhältnisse einzutreten, womit für uns eine große Industrie neuerlich in Wettbewerb tritt.

Die deutsche Industrie haben wir zu verschiedenen Zeiten verschieden empfunden, meist als den stärkeren Mitbewerber, zuweilen aber als den schwerer behinderten. Wir sind uns darüber klar, daß wir uns auf manchen Gebieten ihm gegenüber nur vorübergehend den Erfolg sichern können.

Die heutigen mechanischen Maschinenindustrien.

Aus den geschilderten Verhältnissen heraus hat sich der gegenwärtige Zustand der mechanischen Industrien in Österreich entwickelt, der mit Hinblick auf den Umstand, daß er durch überaus gewaltsame Ereignisse, von denen uns erst eine kurze Zeitspanne trennt, entscheidend beeinflußt wird, als ein Übergangszustand angesehen werden muß. Er ist gekennzeichnet durch manche tiefe Lücken, die in unserm altösterreichischen Maschinenbau nicht bestanden, und durch manches durch die Zerreißung des Landes bedingte Übermaß.

Wir sehen so in Österreich sehr gut vertreten den Bau von Verkehrsmitteln, wie Lokomotiven[1]), Eisenbahnwagen, Radsätzen, Schmalspurbahn-Material. Ebenso den Flußschiff- und Motorbootbau. Eine besonders hohe Entwicklung zeigt der Automobilbau[2]), während der Flugzeugbau zufolge der Friedensvertrags-Bestimmungen ganz vernichtet wurde.

Wir besitzen eine außerordentlich hoch ausgebildete Starkstromindustrie und Fabrikation von Kabeln und Leitungsmaterialien.

Der Kraftmaschinenbau im gewöhnlichen Sinn ist hinsichtlich der Wasserkraftmaschinen, der Dieselmotoren und der Kleinmotoren sehr gut entwickelt; für den Bau mittlerer und großer Dampfmaschinen und Dampfturbinen jedoch sind wir infolge der Landeszertrümmerung derzeit ohne eigene Erzeugungsstätten.

Der Kesselbau ist, wenn auch qualitativ sehr gut, so doch aus gleichen Gründen derzeit ungenügend vertreten. Indessen ist der Bau von Feuerungen hoch entwickelt. Die Fabrikation des Zubehörs von Kraftanlagen, wozu ich Transmissionsbau, Pumpenbau und Armaturenbau rechne, ist in ausreichendem Maß ausgebildet.

Was den Bau von Arbeitsmaschinen, Apparaten und ganzen Fabrikeinrichtungen betrifft, so sind manche Gebiete des Werkzeugmaschinenbaues sehr gut vertreten, wenngleich ebenso wie im alten Österreich zahlreiche Werkzeugmaschinen nur im Wege der Einfuhr, vorwiegend aus Deutschland und Amerika, beschafft werden.

Auch der Hebezeugbau und jener von Transportanlagen sowie von Wagen zeigt sehr gute Leistungen.

Maschinen für Zellstoff-, Pappe- und Papierfabrikation, für Papierverarbeitung, sowie für die Druckereiindustrie werden in Österreich ausreichend erzeugt, wenngleich auch da manche Sondermaschinen eingeführt werden. Der Bau von Textilmaschinen ist nach dem Krieg aufgenommen worden und auf einzelnen Gebieten, insbesondere für Webstühle, gut im Gange. Der Bau von Maschinen für Hartzerkleinerung und Aufbereitung sowie für die keramischen Industrien und für das Baugewerbe ist ausreichend vertreten. Der Apparatebau für die chemischen Industrien ist wohl hinsichtlich der Brauereien und Spiritusfabriken, sowie der Rohölverarbeitung entsprechend entwickelt; für die sonstigen Zweige aber, insbesondere für vollständige Zuckerfabrikeinrichtungen, sind uns die Erzeugungsstätten verloren gegangen. Die vielen Maschinen für Lebensmittelbetriebe, insbesondere für Mühlen, Bäckereien, Molkereien, für die fleischverarbeitenden Industrien werden mannigfach und ausreichend hergestellt, ebenso Maschinen für Wäschereien und für den hauswirtschaftlichen Gebrauch. Sehr nennenswert ist auch die Erzeugung von Maschinen für Tabakverarbeitung. Im Übermaß vorhanden sind Fabriken für Landwirtschaftsmaschinen.

Ebenfalls sehr gut vertreten ist die Erzeugung von Einrichtungen für Zentralheizung einschließlich der Radiatoren.

Sehr hoch entwickelt sind die feinmechanischen Industrien für elektrische Meß- und Kontrollapparate, für Telephon- und Telegraphenbau, die Glühlampenfabrikation, die Erzeugung von Kugellagern, Handfeuerwaffen und Ähnlichem. Nach dem Kriege wurde der Schreibmaschinenbau wesentlich verstärkt aufgenommen.

Hinsichtlich der Erzeugung von eisernen Brücken und Eisenkonstruktionen sind unsre großen und sehr leistungsfähigen Anstalten zur Zeit für das Inlandbedürfnis viel zu groß.

Eine hohe Stufe technischer Leistungsfähigkeit hat die Gießereiindustrie, und zwar sowohl in Metall- und Eisenguß, als im Temperguß, Elektrostahlguß und gewöhnlichem Stahlguß, obgleich gerade in letzterer Hinsicht die gewohnten Erzeugungsstätten für sehr schwere und große Formgußstücke von uns abgeschnitten wurden.

Alle diese Industrien stützen sich auf eine sehr ausgedehnte und, an unsern Verbrauchsverhältnissen gemessen, mehr als ausreichende Halbfabrikatindustrie, die sowohl die Verarbeitung der unedlen Metalle in allen handelsüblichen Formen wie Stäben, Drähten, Bändern, Blechen und Rohren umfaßt, als auch die Erzeugung und Verarbeitung von Eisen und Stahl in allen Formen. Der besondern Güte der Erzeugnisse und dem historischen Bestehen unsrer Edelstahl-Industrie entsprechend hat auch die Werkzeugfabrikation eine große Höhe und Verbreitung erreicht.

Wie im Anfange schon begründet, zeigt also die jetzige mechanische Industrie nicht das Bild einer harmonischen Ausgeglichenheit. Sie kann es, nach allem, was erst vor so kurzem geschehen, nicht zeigen. Aber gewisse einheitliche Züge sind in all diesen Industriegruppen feststellbar. Vor allem ein alle Zweige durchziehendes unablässiges und seit je bewährtes Streben nach Güte der Erzeugnisse. Die nicht nur im Inlande bewährte Konstrukteurgabe österreichischer Ingenieure, die durch lange Überlieferung fest eingewurzelte Liebe zu guter Arbeit bei den Arbeitern, ein gewisser, nicht immer vorteilhafter, aber der Durchbildung der Erzeugnisse zugute kommender konservativer Zug der Leitung wirken im Sinne der Hervorbringung hoher Gütegrade zusammen.

Es wird nun unsre Arbeit der nächsten Zukunft sein, das Bestehende möglichst zu sichern, das dauernd Überflüssige umzuwandeln und anzupassen, und die Lücken, soweit es erforderlich ist, zu schließen. Wir sind zuversichtlich darin, daß der Maschinenbau und die mechanischen Industrien im allgemeinen, die in Österreich immer eine Stätte hingebungsvoller Arbeit und stetigen, nicht immer beachteten Schaffens gefunden haben, die schweren Schäden, die ihnen die Friedensfolgen zugefügt haben, wieder gutmachen werden, wenngleich dazu Zeit und viel Arbeit erforderlich sein wird. [A 134]

[1]) s. S. 225, Rihosek.
[2]) s. S. 243, Zoller.

Festigkeit und Materialprüfung.

Von P. Ludwik.

(Mitteilung aus der Technischen Versuchsanstalt der Technischen Hochschule Wien.)

Verschiedenheit der Festigkeit und der Kerbwirkung bei statischer, dynamischer und wechselnder Beanspruchung.

Wohl kaum eine Stoffeigenschaft wird in so vieldeutiger und mißverständlicher Weise aufgefaßt und angewendet wie die Festigkeit, insbesondere die Zugfestigkeit von Metallen.

Unter der Zugfestigkeit $K_z = \frac{P_{max}}{f_0}$ versteht man bekanntlich jene auf den ursprünglichen Querschnitt f_0 des Probestabes (Rund- oder Flachstabes) bezogene Höchstbelastung P_{max}, die nötig ist, um den Stab zu zerreißen. Diesem Werte entspricht die Ordinate bb_1 im Zugdiagramme, Abb. 1, wenn, wie üblich, als Abszissen die auf die ursprüngliche Meßlänge l_0 bezogenen Dehnungen $\frac{l-l_0}{l_0} \cdot 100$ und als Ordinaten die zugehörigen, auf f_0 bezogenen Belastungen P aufgetragen werden. Die zugehörige Abszisse ob wird als „gleichmäßige Dehnung" bezeichnet, da sich bis dahin die Dehnungen annähernd gleichmäßig über die ganze Meßlänge verteilen, während später mit beginnender Einschnürung nur mehr eine „örtliche Dehnung" bei immer rascher abfallender Belastung stattfindet, bis schließlich bei erreichter „Bruchdehnung" oc der Bruch erfolgt.

Meist wird auch heute noch dieses Zugdiagramm so gedeutet, als ob die Zugfestigkeit K_z (also die Ordinate bb_1) der wirklichen Zerreißfestigkeit des betreffenden Metalles entspräche, mit deren Erreichung dessen Widerstandsfähigkeit und Dehnbarkeit nahezu erschöpft ist. Daß bei dehnbaren Metallen (z. B. Kupfer oder Flußeisen) dies auch nicht annähernd zutrifft, läßt die Kurve o, a_2, b_2, c_2 der „effektiven Spannungen" $\sigma = \frac{P}{f}$ erkennen, die erhalten wird, wenn die auf die jeweiligen Querschnitte f bezogenen Belastungen P als Ordinaten und die zugehörigen aus der Querschnittverminderung in der Einschnürungsstelle ermittelten „effektiven Dehnungen" $\left(\frac{f_0}{f} - 1\right) \cdot 100$ als Abszissen aufgetragen werden[1]). So bedeutet z. B. 100 vH effektive Dehnung, daß sich der Querschnitt um die Hälfte verringert und dort also die Stabteile sich auf die doppelte Länge gedehnt haben. Die Punkte a_2, b_2, c_2 der σ-Kurve entsprechen dann den Punkten a_1, b_1, c_1 des Zugdiagrammes. Die „Streckgrenze" $aa_1 \sim aa_2$ ist die bei $oa = 0{,}2$ vH bleibender Formänderung[2]), und bb_2 die bei erreichter Höchstbelastung P_{max} auftretende Zugspannung. In dieser Darstellung tritt deutlich hervor, daß auch nach Erreichung der Höchstlast der spezifische Formänderungswiderstand noch weiter (von b_2 bis c_2) ansteigt, wobei sich das Metall noch um ein Vielfaches (von b bis c') streckt.

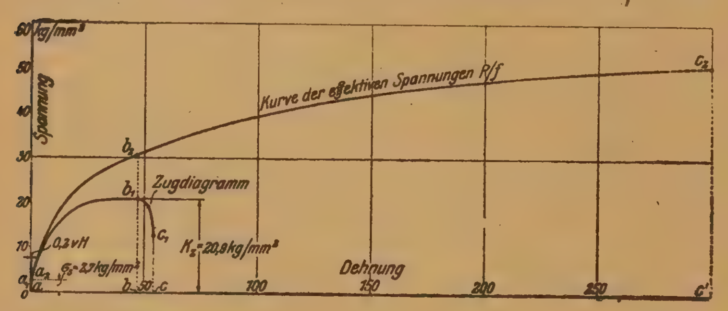


Abb. 1. Zugdiagramm und Kurve der „effektiven Spannungen" von Kupfer.

Bei dem vorliegenden gut ausgeglühten Kupfer (von 20,9 kg/mm² Zugfestigkeit, 54 vH Bruchdehnung und 75 vH Einschnürung) betrug z. B. die erreichte Höchstspannung etwa das 2,5fache der Zugfestigkeit und die aus der Einschnürung bestimmte mittlere Dehnung der Bruchstelle das 5,5fache der Bruchdehnung. Bei einem Flußeisen (von rd. 40 kg/mm² Zugfestigkeit, 36 vH Bruchdehnung und 70 vH Einschnürung) betrug diese Zunahme etwa das doppelte, bzw. das 6,5fache. Während der Streckung ist also der Formänderungswiderstand von aa_2 bis $c'c_2$ gestiegen, welcher Spannungsunterschied auch ein Maß der beim Zugversuch erreichbaren Verfestigung (Kaltbearbeitung) gibt.

[1]) Elemente der Technologischen Mechanik S. 18, Berlin 1909, Julius Springer. Doch ist zu beachten, daß wegen der ungleichmäßigen Spannungsverteilung über den Querschnitt, der durch die angrenzenden Stabteile gehinderten Querzusammenziehung, der Schwierigkeit, die immer rascher fallenden Belastungen auch wegen des immer stärkeren Nachfließens genauer zu messen usw., dem über b_2 liegenden Teile der σ-Kurve eine strenge physikalische Bedeutung eigentlich nicht zukommt. Vergl. auch: Stahl u. Eisen 1923 S. 999.

[2]) Nach dem deutschen (NDI 1922/23 H. 10 N. 128) und österreichischen (ÖNIG 1923 Nr. 21/22 S. 108) Normenvorschlag.

Der der „gleichmäßigen Dehnung" ob bzw. der Zugfestigkeit bb_1 entsprechende Formänderungswiderstand bb_2 ist also nur ein Mittelwert, dessen Höhe von der Zunahme der Verfestigung, aber auch von der Größe der Einschnürung abhängt, da mit abnehmender Einschnürung c_2 immer mehr gegen b_2 rückt.

Die physikalische Bedeutung der Zugfestigkeit einschnürender Stoffe ist also die eines mittleren Formänderungswiderstandes, der mit der wirklichen Zerreißfestigkeit (Kohäsion) in keinem unmittelbaren Zusammenhange steht, was ja auch schon daraus hervorgeht, daß man die Zugfestigkeit K_z solcher Stoffe bestimmen kann (bei Abbruch des Versuches bei beginnender Einschnürung) ohne den Stab überhaupt zu zerreißen, ohne also die Kohäsion überwinden zu müssen.

Da auch durch Eindruckhärteproben (Kugel- oder Kegeldruckproben) Gleiches — nämlich ein mittlerer Formänderungswiderstand — gemessen wird, so ist es begreiflich, daß bei einschnürenden Stoffen innerhalb gleichartiger Materialgruppen Zugfestigkeit und Eindruckhärte in einfacher Beziehung stehen. Indem in diesem Sinne Zugfestigkeit und Eindruckhärte dieselbe Materialeigenschaft zum Ausdrucke bringen, scheint mir eine nachträgliche Umrechnung der Härtezahl in die Zugfestigkeit eigentlich unnötig.

Die Bedeutung der Eindruckhärteproben liegt sonach m. E. nicht in der Möglichkeit, aus ihnen die Zugfestigkeit zu berechnen, sondern darin, daß sie auf so einfache Weise den Formänderungswiderstand messen, den der Stoff mehr oder weniger großen Formänderungen entgegensetzt[3]). Sind diese Formänderungen (spezifische Schiebungen) gering, wie z. B. bei flacheren Eindrücken, so werden die entsprechenden Härtewerte in näherer Beziehung zur Streckgrenze stehen. In diesem Sinne kann die Streckgrenze auch als die Härte des „ursprünglichen" Metalles aufgefaßt werden, die bei fortschreitender Streckung und Kalthärtung bis etwa $c'c_2$ ansteigt.

Hieraus geht auch hervor, daß sich bei dehnbaren Metallen durch Kaltbearbeitung die Streckgrenze nicht nur — wie gewöhnlich angenommen wird — bis zur Zugfestigkeit, sondern noch viel höher heben läßt und sonach der Zugfestigkeit auch in dieser Richtung keine Bedeutung als Grenzwert zukommt.

Da ferner im allgemeinen bei Bau- und Maschinenteilen bleibende Formänderungen unzulässig sind, so muß eigentlich die Streckgrenze oder allgemeiner (da Streck-, Stauch- und doppelte Schubgrenze bei Metallen meist nur wenig abweichen) die „Fließgrenze" und nicht die Zugfestigkeit als wichtigste Wertziffer angesprochen werden[4]).

Bei darauf bezüglichen Normungen wäre aber wohl zu beachten, daß einerseits die meisten Metalle und Legierungen (Flußeisen ausgenommen) in gegossenem und geglühtem Zustande keine scharf ausgeprägte Fließgrenze haben, und daß anderseits diese Größe durch mechanische und thermische Behandlung (Kaltbearbeitung, Glühen, Vergüten usw.) in weiten Grenzen veränderlich) ist[5]), wobei eine Erhöhung der Fließgrenze oft nur auf Kosten der Dehnbarkeit und Schmeidigkeit erreichbar ist.

[3]) Kohäsion, Härte und Zähigkeit, Z. f. Metallk. 1922 S. 101.

[4]) Streng genommen und im Sinne G. Welters (Z. 1924 S. 9) eigentlich die „Elastizitätsgrenze", da bei deren Überschreitung schon bleibende Formänderungen auftreten. Doch ist dieser Begriff — vorerst wenigstens noch — etwas unsicher, so daß sogar der jetzt vorliegende österreichische Normenvorschlag auf eine Festlegung dieser Grenze insofern verzichtet, als er die Elastizitätsgrenze „jene mit den feinsten Meßinstrumenten festgestellte Spannung" nennt, „bis zu welcher die Dehnungen beim Entlasten noch vollständig verschwinden". (ÖNIG-Mitteilungen Nov. 1923 Nr. 21/22 S. 108.)

B. Kirsch (Z. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1913 S. 81) hält die von den internationalen Vorschriften (Brüssel 1906) für die Elastizitätsgrenze nur als zulässig erklärte bleibende Dehnung von 0,001 vH für „unter allen Umständen viel zu klein, da eine bleibende Formänderung unserer Konstruktionsglieder von 0,01 vH praktisch vollkommen zulässig ist", ja oft sogar noch 0,1 vH „ohne jedes Bedenken als bleibende Formänderungen zugelassen werden dürfen".

In neuerer Zeit bezeichnen einzelne Werke, wie z. B. Fried. Krupp A.-G. in Essen, als Elastizitätsgrenze diejenige Spannung, bei welcher die bleibende Dehnung den Betrag von 0,03 vH der Meßlänge des Probestabes erreicht (nach C. Bach, „Elastizität und Festigkeit" 8. Aufl. S. 27, Berlin 1920, Julius Springer). Nach O. Wawrziniok (Handbuch des Materialprüfungswesens, 2. Aufl., S. 22, Berlin 1923, Julius Springer) „erscheint dieser Wert etwas hoch, ist aber nicht zu beanstanden, da die Elastizitätsgrenze ja mehr oder weniger ein subjektiver Begriff ist".

Hierzu sei auch daran erinnert, daß einerseits viele Stoffe, wie z. B. Gußeisen, Steine, Beton usw., besonders bei erstmaliger Belastung, überhaupt keine oder nur eine ganz geringe Elastizitätsgrenze (0,001 vH-Grenze) zeigen und daß anderseits z. B. bei Flußeisen eine höhere Elastizitätsgrenze durch Kaltreckung oft bis auf Null herabgeworfen wird. Mit der Zeit „erholt" sich aber ein solches Eisen wieder, wobei die Elastizitätsgrenze (wie ich wiederholt beobachten konnte) von Null bis über die frühere Streckgrenze, ja bis auf die Höhe der neuen „oberen Streckgrenze" ansteigt.

Hieraus scheint hervorzugehen, daß intra- und intergranulare Verschiebungen der einzelnen Kristallite infolge elastischer Nachwirkung, nach dem Gusse oder nach der Kaltreckung zurückgebliebene innere Spannungen, Unterschiede und Veränderungen des Gefüges und andre noch nicht recht faßbare Einflüsse die Größe der Elastizitätsgrenze sehr stark zu verändern vermögen.

[5]) So läßt sich z. B. die Streckgrenze von etwas vorgerecktem Flußeisen durch bloßes Einlegen in kochendes Wasser in wenigen Minuten um bis etwa 15 vH erhöhen.

Diese Formänderungsfähigkeit ist aber neben dem Formänderungswiderstande (Fließgrenze, Härte) jene Wertziffer, die die dynamische Bruchfestigkeit bestimmt. Denn bei Stoßbeanspruchung ist für die Bruchgefahr nicht die ertragbare Höchstlast, sondern der zum Bruche nötige Arbeitsaufwand maßgebend.

Wird durch Kerbwirkungen (scharfe Querschnittübergänge und dergl.) die Formänderungsfähigkeit und das die Arbeit aufnehmende Stoffvolumen stark verringert, so können schon verhältnismäßig geringe Arbeitsgrößen den Bruch herbeiführen. Die Wirkung solcher Kerben bei dehnbaren Stoffen (z. B. Flußeisen) ist durch folgenden einfachen Versuch gut zu veranschaulichen[1]): Aus einer Stange weichen Flußeisens wurden Probestücke von den in Abb. 2 bis 5 angeführten Abmessungen hergestellt. Die schärfste Kerbe, Abb. 5, wurde eingesägt. Bei allen Stäben betrug der kleinste Stabdurchmesser $d_0 = 10$ mm und die Meßlänge $l_0 = 10\, d_0 = 100$ mm.

Abb. 6 gibt die zugehörigen Zugdiagramme, wobei als Abszissen die auf $l_0 = 100$ mm bezogenen Dehnungen in Hundertteilen und als Ordinaten die auf den ursprünglichen Querschnitt $f_0 = \frac{\pi\, d_0^2}{4}$ bezogenen Belastungen P aufgetragen wurden. In den Punkten 1 bis 4 erreicht die Belastung ihren Höchstwert.

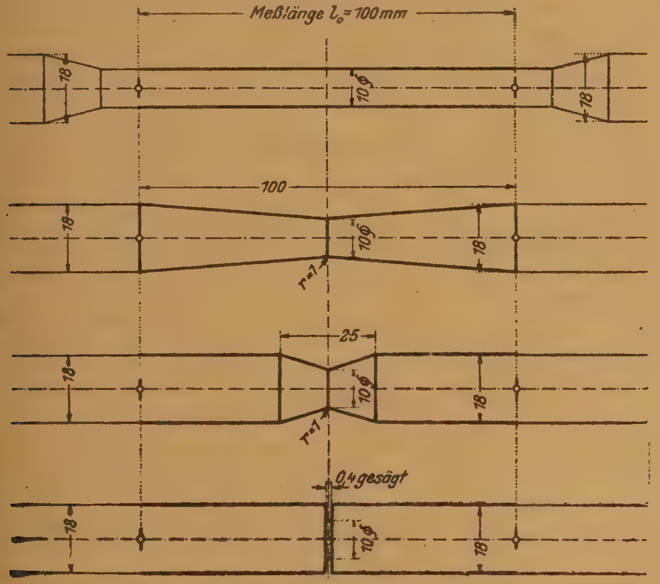


Abb. 2 bis 5. Abmessungen der Probestäbe.

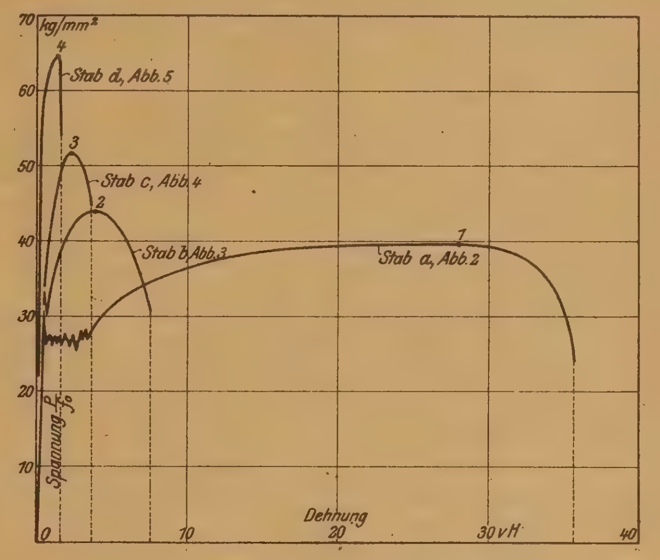


Abb. 6. Zugdiagramm der Probestäbe Abb. 2 bis 5.

Die zugehörigen Werte der Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Einschnürung, effektiven Dehnung und die aus den Flächen der Zugdiagramme berechnete Verformungsarbeit A wurden in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Zahlentafel 1.

Stabform	Zugfestigkeit K_z kg/mm²	Bruchdehnung vH	Einschnürung vH	„effektive" Dehnung vH	Verformungsarbeit A cmkg
Abb. 2	39,6	35,7	69	233	10,147
Abb. 3	43,8	7,5	64,6	182,5	2,281
Abb. 4	51,6	3,6	42,7	74,5	1,232
Abb. 5	64,4	1,5	22,5	29,1	710

Der Wert A ist also jene Arbeit, die nötig war, um Flußeisenstäbe von 10 cm Länge der Form Abb. 2 bis 5 zu zerreißen. Um also z. B. den auf 10 mm Dmr. eingesägten Stab Abb. 5 von 18 mm Dmr. zum Bruche zu bringen, braucht man nur etwa 7 vH jener Arbeit, die nötig ist, um den zylindrischen Stab Abb. 2 von 10 mm Dmr. zu zerreißen. Durch Abdrehen, also Schwächung des eingesägten Stabes, Abb. 5, von 18 auf 10 mm, kann daher dessen Stoßfestigkeit (von dem Einflusse der Formänderungsgeschwindigkeit vorerst abgesehen) auf das 14fache erhöht werden, und zwar obwohl hierbei die Zugfestigkeit — wohl wegen der jetzt weniger gehinderten Querzusammenziehung — um rd. 40 vH sinkt.

Die Zunahme der Zugfestigkeit mit der Schärfe der Kerbung läßt auch erkennen, daß die von der Theorie geforderte starke Verminderung der Zugfestigkeit durch scharfe Einkerbungen bei dehnbaren Metallen auch nicht annähernd zutrifft.

Diese die Stoßfestigkeit (trotz Erhöhung der Zugfestigkeit) so beeinträchtigende Wirkung von Kerben ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß bei den gekerbten Stäben fast nur der durch die Kerbe geschwächte Stabteil, also ein sehr kleines Stabvolumen, beinahe die ganze Arbeit aufzunehmen hat, während sich die angrenzenden Stabteile viel weniger dehnen, wodurch auch die Querzusammenziehung gehindert und die Formänderungsfähigkeit verringert wird.

Was hier — weil anschaulicher — für den Bruchvorgang gezeigt wurde, gilt sinngemäß übertragen auch im elastischen Bereich, denn auch die Überschreitung der Fließgrenze wird um so leichter erfolgen, je geringer das elastische Arbeitsvermögen und das diese Arbeit aufnehmende Stoffvolumen ist.

Bezüglich des Einflusses der Stoßgeschwindigkeit sei auf Kerbschlagversuche Mosers[2]) verwiesen, die ergaben, daß die „Kerbzähigkeit" von zwei grundsätzlich verschiedenen Umständen: der „Arbeitskonstanten" und der „Arbeitsschnelligkeit" abhängig ist. Erstere entspricht etwa der Einschnürung beim Zugversuch, letztere einer noch unbekannten Stoffeigenschaft, die aber erst bei Überschreitung einer gewissen kritischen „Grenzschlaggeschwindigkeit" zum Ausdruck kommt. Derselbe Stoff kann sich also je nach der Formänderungsgeschwindigkeit schmeidig oder spröde verhalten.

Vielleicht läßt sich dies auf folgende Weise erklären: So wie bei Flüssigkeiten ist auch bei festen Körpern die innere Reibung bzw. der Schubwiderstand (den der Körper bleibenden Formänderungen entgegensetzt) abhängig von der Fließgeschwindigkeit. Während aber dort beide Größen (bei gleicher Temperatur) einander proportional sind, ist bei Metallen diese Beziehung logarithmisch[3]). Mit zunehmender Formänderungsgeschwindigkeit müssen daher auch die Formänderungswiderstände mehr oder weniger zunehmen. Ist die Kohäsion im Verhältnis zu den Schubwiderständen genügend groß, so wird kein Bruch eintreten, der Stoff erscheint schmeidig. Überwiegen jedoch bei größeren Geschwindigkeiten die Schubwiderstände, so erfolgt zufolge örtlicher Kohäsionsüberschreitung ein vorzeitiger Bruch.

Recht anschaulich läßt sich dies z. B. an Zink zeigen. So konnte ein runder Zinkstab bei sehr langsamer Biegung vollständig umgebogen und gefaltet werden, wogegen er im Pendelhammer, ohne sich merklich zu biegen, glatt abbrach. Im letzten Falle waren eben zufolge der viel größeren Formänderungsgeschwindigkeit auch die inneren Reibungswiderstände größer, und um sie zu überwinden, schon Zugspannungen nötig, die die Kohäsion überschritten[4]).

Hieraus geht auch unmittelbar hervor, daß die Fließgrenze, und zwar sowohl die des ausgeglühten wie die des mehr oder weniger kaltbearbeiteten Metalles, abhängig sein muß von der Formänderungsgeschwindigkeit, doch ist die Größe dieses Einflusses — also die Beziehung zwischen statischer und dynamischer Fließgrenze — noch wenig erforscht.

Ein bemerkenswerter Beitrag in dieser Richtung ist das eben veröffentlichte Weltersche Verfahren zur Bestimmung der „Schlagelastizität" von Metallen und Legierungen[5]), das darauf beruht, daß die Schlagarbeit eines normalen 10 mkg-Pendelhammers durch stufenweise Vergrößerung der Fallhöhe so lange ge-

[1]) Über Kerbwirkungen bei Flußeisen s. „Stahl und Eisen" 1923 S. 999.

[2]) „Stahl u. Eisen" 1923 S. 935, Über „Kerbzähigkeit", „Schlagfestigkeit" und „Spaltfestigkeit"; vergl. auch P. Fillunger, „Theorie und Praxis der Kerbschlagprobe", Schweizerische Bauzeitung 1923 Nr. 21 S. 265 u. Nr. 22 S. 284.

[3]) „Über den Einfluß der Deformationsgeschwindigkeit bei bleibenden Deformationen, mit besonderer Berücksichtigung der Nachwirkungserscheinungen", Physik. Zeitschr. 1909 S. 411.

[4]) „Was haben wir an der Kerbschlagprobe?" „Stahl u. Eisen" 1923 Nr. 46 S. 1427. Vergl. auch: „Elemente der Technologischen Mechanik" S. 44.

[5]) G. Welter, „Schlagelastizität von Metallen und Legierungen", Zeitschrift f. Metallk. 1924 S. 6.

steigert wird, bis eine mit Spiegelablesung meßbare bleibende Durchbiegung des Probestabes erfolgt. Die hierzu nötige Schlagarbeit gilt dann als Maß der „Schlag-Elastizitätsgrenze“. Die Versuche ergaben, daß ausgeglühtes Aluminium und Kupfer praktisch so gut wie keine Schlag-Elastizitätsgrenze haben, daß eine solche jedoch deutlich bei Messing, gehärteten Aluminium-Legierungen, hartem Kupfer und Eisen ausgeprägt ist.

Hierbei ist aber m. E. zu berücksichtigen, daß bei diesem Verfahren die ersten meßbaren bleibenden Formänderungen auftreten, bis fast die ganze Schlagarbeit durch das elastische Arbeitsvermögen der Probe aufgezehrt ist, also bei einer Formänderungsgeschwindigkeit von fast Null. Welter mißt also den Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit auf den Formänderungswiderstand eigentlich mehr im rein elastischen Bereich. Nach bisherigen Anschauungen erfolgen aber solche rein elastische Formänderungen ganz unabhängig von der Formänderungsgeschwindigkeit, da ja keine inneren Reibungen auftreten.

Ganz andere Umstände als bei statischer und bei dynamischer Beanspruchung bedingen die Festigkeit der Metalle bei oft wiederholten Beanspruchungen. Solche Belastungen sind, besonders wenn ihre Richtung millionenmal welchselt, auch darum so gefährlich, weil hier die Arbeitsfähigkeit des Metalles keine Sicherheit gegen Kerbbrüche bietet wie bei den bisher besprochenen Beanspruchungen[1]).

Nach heute noch vorherrschenden Anschauungen allerdings soll die Ermüdung in der Weise erfolgen, daß bei jedem Spannungswechsel das Metall sich ein wenig bleibend deformiert, solange bis das im Stoff aufgespeicherte (z. B. etwa durch die Fläche des Zugdiagramms) gegebene Arbeitsvermögen vollständig erschöpft ist. Hiernach müßten sich einerseits mit zunehmender Ermüdung die Formänderungsdiagramme im Sinne zunehmender Kaltbearbeitung verändern und anderseits unter sonst gleichen Umständen ein viel dehnbareres Metall auch viel langsamer ermüden als ein spröderes. Beides geschieht jedoch nicht, wie kürzlich an Dauerversuchen mit Aluminium, Kupfer, Eisen und Stahl gezeigt wurde[2]).

Ein Vergleich des Torsionsdiagrammes des vorher mehr oder weniger oft und hoch beanspruchten Metalles mit dem des ursprünglichen ausgeglühten Metalles führte nämlich zu dem überraschenden Ergebnis, daß ganz unabhängig von der Zahl der vorangegangenen Wechsel und der Höhe der gewählten Grenzbelastung, oberhalb dieser, beide Formänderungsdiagramme stets zusammenfallen. Nur war das Diagramm des wechselnd beanspruchten Metalles um so kürzer, das Bruchmoment also um so niedriger, ein je öfterer Spannungswechsel vorausging. Die jeden Wechsel begleitenden, oft (besonders bei hoher Grenzbeanspruchung) sehr beträchtlichen bleibenden Formänderungen bewirken also keine Verfestigung, sondern eine allmählich fortschreitende Gefügelockerung.

Je härter das Metall ist, einen um so größeren Widerstand setzt es diesem „Auswackeln“ entgegen, und um so höhere Grenzbeanspruchungen wird es bei gleicher Wechselzahl ertragen bzw. um so langsamer wird es bei gleich hoher Grenzbeanspruchung ermüden. Dementsprechend zeigte auch z. B. im Wasser gehärteter, gar nicht angelassener Flußstahl eine viel größere Widerstandsfähigkeit gegen wechselnde Beanspruchungen (Dauerbiege- und Wechsel-Kerbschlagproben) als angelassener oder gar ausgeglühter.

Für die Widerstandsfähigkeit eines Metalles gegen oftmals (millionenmale) wechselnde Beanspruchungen („Schwingungsfestigkeit“, „Arbeitsfestigkeit“) ist also — neben der Gefügebeschaffenheit — hauptsächlich der Formänderungswiderstand (Fließgrenze, Härte), nicht aber die Formänderungsfähigkeit (Schmeidigkeit) maßgebend. Ein großes Arbeitsvermögen bietet somit keinerlei Sicherheit gegen einen Ermüdungsbruch.

[1]) Nach G. Welter (Z. 1924 S. 10) ist bei solchen (nicht wechselnden) Belastungen das Arbeitsvermögen insofern mehr nebensächlich, als eine Beanspruchung des Werkstoffes über die „wahre Elastizitätsgrenze“ (0,001 vH-Grenze) bis zur Fließgrenze vielfach bereits eine so starke Deformation des Bauteiles hervorruft, daß, falls diese während des Betriebes auftritt, die Maschine zumeist völlig zerstört wird.

Doch ist immerhin zu berücksichtigen, daß örtliche Überschreitungen der Fließgrenze z. B. im Kerbengrunde, beträchtliche spezifische Dehnungen bewirken können, ohne daß die Gesamtformänderung des Bauteiles (z. B. eines Kessels oder einer Brücke) noch zulässige Grenzen überschreitet.

Vollständig stimme ich aber mit Welter darin überein, daß die Bedeutung den Dehnbarkeit für die Sicherheit unserer Konstruktionen meist stark überschätzt wird. Wo nicht technologische Gründe (wie z. B. im Kesselbau) ausschlaggebend sind, wird daher in vielen Fällen die Verwendung von härteren, wenn auch weniger dehnbaren Metallen vorzuziehen sein. Mit den immer mehr steigenden Ansprüchen an die Festigkeit unserer Konstruktionsstoffe wird die Forderung nach einer möglichst hohen Fließgrenze immer dringlicher werden, dafür aber die nach hoher Dehnbarkeit mehr zurücktreten müssen. Da ich demnächst andernorts über diese Frage berichten werde, so möchte ich mich hier mit diesen Andeutungen begnügen.

[2]) „Das Verhalten der Metalle bei wiederholter Beanspruchung“, Z. 1923 Nr. 6 S. 122, wo auch weitere Literaturhinweise. Vergl. auch: Zeitschr. f. Metallk. 1923 Märzheft S. 68. Von seither erschienenen Arbeiten seien angeführt: W. Müller und H. Leber, Z. 1923 S. 357. R. Stribeck, Z. 1923 S. 631, und O. Föppl, „Maschinenbau“ 1923 Heft 25/26 S. 1002.

Daher können schon scheinbar geringfügige Kerbwirkungen, wie zu scharfe Übergänge (ungenügende Abrundungen) oder geringe Oberflächenverletzungen (durch Dreh- oder Schleifrisse, Hammerhiebe, eingeschlagene Marken und dergl.), aber auch innere Ungleichmäßigkeiten (wie Schlackeneinschlüsse, Seigerungen, poröse Stellen, Hohlräume, Gefügeverschiedenheiten und dergl.) die Lebensdauer selbst sehr dehnbarer Metalle außerordentlich verkürzen. Solche Kerbwirkungen sind bei weniger oft (einige tausend- statt millionenmal) wechselnden Beanspruchungen entsprechend milder, aber doch noch deutlich nachweisbar.

So verminderte z. B. ein eingefeilter umlaufender Ritz von nur $^1/_{20}$ mm Tiefe bei $^1/_{10}$ mm Krümmungshalbmesser in Rundstäben von 13 mm Dmr. aus Flußstahl (von 56 kg/mm² Zugfestigkeit, etwa 25 vH Bruchdehnung und 50 vH Einschnürung) bei Wechsel-Kerbschlagproben (mit einem Kruppschen Dauerschlagwerk) die Schlagzahl im Mittel von rd. 8000 auf 4000, also schon um die Hälfte[3]).

Weitere, gemeinsam mit F. Rinagl und R. Scheu durchgeführte Dauerversuche ergaben jedoch, daß oft viel tiefere Kerben keine Verschwächung bewirkten, wenn der Kerbengrund sorgfältig auspoliert wurde. Hiernach scheint die Gefährlichkeit solcher Kerben hauptsächlich von der Beschaffenheit des Kerbengrundes abzuhängen. Die Sicherheit mancher Maschinenteile (z. B. Wellen) ließe sich daher mitunter leicht erhöhen, wenn die zu scharfen Abrundungen nachträglich poliert würden, natürlich nur, falls der erwähnte Einfluß der inneren Ungleichmäßigkeiten nicht überwiegt.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß Kerben bei oftmals wechselnder Beanspruchung grundsätzlich anders wirken als bei einmaliger (ruhender oder stoßweiser) Belastung. Bei statischer Beanspruchung tritt, sobald im Kerbengrunde die Fließgrenze überschritten wird[4]), Spannungsausgleich und Verfestigung ein, bei dynamischer Beanspruchung (ohne Spannungswechsel) bietet das Arbeitsvermögen eine gewisse Bruchsicherheit. Dagegen bewirken sehr oft wechselnde Beanspruchungen in solchen Fällen, ziemlich unabhängig von der Dehnbarkeit, keine Verfestigung, sondern im Gegenteil eine allmählich fortschreitende Gefügelockerung. Diese, wenn auch nur örtlich im Kerbengrunde stattfindende Schwächung des atomaren Verbandes wird schließlich zu ganz feinen Anrissen führen, welche, die Kerbwirkung wiederum verstärkend, dann den Dauerbruch auslösen.

Zusammenfassung.

Die wirkliche Zerreißfestigkeit und Dehnung dehnbarer (einschnürender) Metalle beträgt oft ein Mehrfaches der „Zugfestigkeit“ und „Bruchdehnung“. Der Zugfestigkeit solcher Metalle kommt eigentlich nur die Bedeutung eines mittleren Formänderungswiderstandes zu, ähnlich wie z. B. der Eindruckhärte, weshalb beide in einfacher Beziehung stehen.

Bedeutung der Streckgrenze bzw. Fließgrenze gegenüber der Zugfestigkeit. Statische und dynamische Fließgrenze. Beziehungen zwischen Fließgrenze, Härte und Verfestigung. Durch Kalthärtung ist es möglich, die Streckgrenze noch weit über die Zugfestigkeit zu heben.

Bei ruhender Belastung sind Kerben in dehnbaren Metallen weniger gefährlich, da bei Überschreitung der Fließgrenze ein Spannungsausgleich und Verfestigung eintritt.

Die Stoßfestigkeit ist abhängig vom Arbeitsvermögen und dem die Arbeit aufnehmenden Stoffvolumen. Verringerung dieses Vermögens und Volumens durch Kerben bzw. scharfe Querschnittübergänge vermindert daher die Stoßfestigkeit. Bei entsprechender Stoßgeschwindigkeit erscheinen schmeidige Metalle mehr oder weniger spröde, wenn die mit der Formänderungs-Geschwindigkeit zunehmende innere Reibung die Kohäsion überschreitet.

Für die Widerstandsfähigkeit eines Metalles gegen oftmals wechselnde Beanspruchungen („Schwingungsfestigkeit“, „Arbeitsfestigkeit“) ist — neben der Gefügebeschaffenheit — hauptsächlich der Formänderungswiderstand (Fließgrenze, Härte), nicht aber die Formänderungsfähigkeit (Schmeidigkeit) maßgebend. Daher bietet selbst ein großes Arbeitsvermögen keinerlei Sicherheit gegen einen Ermüdungsbruch.

Kerbwirkungen sind bei sehr oft wechselnden Beanspruchungen vor allem darum so überaus gefährlich, weil eine Überschreitung der Fließgrenze im Kerbengrunde dort nicht (wie bei einmaliger Belastung) eine Verfestigung, sondern eine allmählich fortschreitende Gefügelockerung bewirkt. Wesentliche Milderung solcher Kerbwirkungen ist durch Polieren des Kerbengrundes zu erreichen. [A 51]

[3]) Die Versuchseinrichtung, sowie die Belastungen und Abmessungen der Probestäbe waren sonst die gleichen, wie bei den in Z. 1923 Nr. 6 S. 122 beschriebenen Dauerversuchen.

[4]) Über Spannungsstörungen durch Kerbstellen vergl. u. a. auch A. Leon und R. Zidlicky, Z. 1915 S. 11 und A. Leon, Z. 1917 S. 215, sowie A. Leon, „Gestaltung“ 1922 S. 55 und S. 83, wo auch weitere einschlägige Literaturhinweise.

Die Sanierung der Österreichischen Bundesbahnen.

Von Dr. Günther, Präsident der Österreichischen Bundesbahnen.

Vorgetragen im Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein zu Wien am 28. Januar 1924[1]).

Der Vortragende bespricht, ausgehend von den Fehlern des alten bürokratischen Regimes, die von der neuen Leitung bereits getroffenen Maßnahmen, die teils in der Erweckung eines neueren freieren Geistes, teils in weitgehender Zentralisation liegen. — Um das für das Jahr 1923 zu erwartende Defizit von ca. 1050 Milliarden möglichst herabzusetzen, werden für das Jahr 1924 die Ausgaben durch verbilligten Einkauf und Ersparungsprämien um 250 Milliarden und durch den Abbau überflüssiger Angestellter um 67 Milliarden herabgesetzt werden, während die Einnahmen durch eine die Tragfähigkeit der Volkswirtschaft berücksichtigende Tarifreform um 275 Milliarden steigen werden. — Da andererseits durch eine allgemeine Gehaltserhöhung Mehrausgaben von jährlich 200 Milliarden erwachsen, wird sich der Abgang für das Jahr 1924 von ungefähr 1050 auf 650 Milliarden Kronen erniedrigen. — Auch bei der Südbahn, deren Betrieb ab 1. Januar 1924 von den Österreichischen Bundesbahnen übernommen wurde, werden ähnliche organisatorische und Sparmaßnahmen durchgeführt werden.

Ich bin der Aufforderung des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, in seinen Räumen einen Bericht über die Sanierung der Österreichischen Bundesbahnen zu geben, um so lieber gefolgt, als es mir schon seit langem ein Bedürfnis ist, die Öffentlichkeit über den Zustand der Bundesbahnen zu unterrichten und ihr darüber Rechenschaft zu geben, was die neue Verwaltung bisher geleistet hat, und insbesondere, welche Aussichten sich für das Gelingen des Reformwerkes eröffnen.

Wenn die Organe der Bundesbahnen bisher mit der Aufklärung der Öffentlichkeit sehr zurückhaltend waren und es vorgezogen haben, im stillen und möglichst geräuschlos zu wirken, so geschah es, weil ich vor allem volle Klarheit gewinnen wollte über das zu lösende Problem, über die Mittel zu seiner Lösung und über die Aussichten, die sich der Lösung selbst bieten.

Obwohl ich annehme, daß alle Anwesenden und auch die breiten Schichten der Öffentlichkeit über die Organisation des Unternehmens „Österreichische Bundesbahnen" unterrichtet sind, möchte ich darüber doch einige Worte verlieren.

Die Regierung hatte erkannt, daß es schwer möglich sei, bei hoheitsmäßiger Verwaltung jene Gesichtspunkte zur Anwendung zu bringen, welche nötig waren, die Bundesbahnen grundlegend zu reformieren, und welche sich frei verwaltete Wirtschaftskörper längst zu eigen gemacht haben. Insbesondere mußte es der Regierung klar sein, daß bei hoheitsmäßig verwalteten Bahnen die Ausschaltung politischer Einflüsse naturgemäß außerordentlich schwer gewesen wäre, eine Erscheinung, die ja bei rein demokratischer Verfassung überall in gleicher Weise zutage tritt.

Als in Ausführung der Genfer Abmachungen eine durchgreifende Sanierung des österreichischen Staatshaushalts in Angriff genommen wurde, zeigte sich bald, daß alle sonstigen Zweige der staatlichen Verwaltung viel eher ins Gleichgewicht gebracht werden können als der Bundesbahnbetrieb, und daß sich das Problem der Sanierung der Staatsfinanzen in letzter Linie zu einer Sanierung des Bundesbahnbetriebes herauskristallisierte. In dieser Erkenntnis hat die Regierung und durch die Annahme der Regierungsvorlagen die Volksvertretung einen entschiedenen Schritt getan, indem sie die Verwaltung der Bundesbahnen von der Staatsverwaltung loslöste und einem von der Staatsverwaltung organisch unabhängigen Unternehmen „Österreichische Bundesbahnen" überantwortete. Der Wirkungskreis, die Befugnisse sowie die Organisation des Unternehmens sind durch das Gesetz über die Bildung eines Wirtschaftskörpers „Österreichische Bundesbahnen" vom 19. Juli 1923 sowie durch das von der Regierung erlassene Bundesbahnstatut geregelt.

Auf die einzelnen Bestimmungen des Gesetzes und der Verordnung will ich, um nicht zu weitschweifig zu werden, hier nicht weiter eingehen.

Im allgemeinen hat in den letzten Jahrzehnten das Bestreben bestanden, privater Initiative entsprungene und im privaten Besitz befindliche Bahnen zu verstaatlichen. Für und gegen die Verstaatlichung wurde zeitweise ein erbitterter Kampf geführt. Ihre Gegner stützten sich dabei auf die Erkenntnis, daß der Staat im allgemeinen ein schlechter, weil zu schwerfälliger und in zu enge Formen gepreßter Verwalter sei, die Anhänger auf die Tatsache, daß die Verkehrspolitik, besonders die Tarifbildung, ein wichtiges Instrument für die gesamte Handels- und Wirtschaftspolitik sei, und daß nur ein vollkommen freies Verfügungsrecht des Staates über die Bahnen seine Handhabung ermöglicht. Mit je feineren und dichteren Fäden sich die einzelnen Staaten zur Weltwirtschaft verbanden, desto mehr gewann das Streben zur Verstaatlichung der gesamten Verkehrswege an Boden. Ich erinnere daran, daß noch kurz vor Kriegsbeginn die Frage der Verstaatlichung der Südbahn auch in Österreich immer dringlicher wurde und daß in einer der letzten Sitzungen des damals bestehenden Staatseisenbahnrates die Verstaatlichung der Südbahn dringend gefordert wurde. Aber auch in den andern Ländern spielten sich ähnliche Vorgänge ab.

[1]) Bemerkung der Schriftleitung: Der Präsident der österreichischen Bundesbahnen, Dr. ing. et mont. hc. Günther, der verdienstvolle Organisator der österreichischen Bahnen, hat auf Wunsch des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines am 28. Januar in Wien vor diesem Verein einen hochbedeutsamen Vortrag über die Sanierung der österreichischen Bundesbahnen gehalten. Zum ersten Mal wird hier von maßgebender Stelle über die Mittel zur Lösung des großen und schwierigen Problems und über die weiteren Aussichten der getroffenen Maßnahmen berichtet. Besonders dankbar sind wir deshalb für die uns gebotene Möglichkeit, diesen Vortrag sogleich in der vorliegenden österreich-Nummer zu veröffentlichen. Die Schriftleitung.

Die Wirkungen des Krieges haben aber doch im allgemeinen die Erkenntnis gestärkt, daß die Staaten nicht imstande waren, auf ihren Bahnen jenen sparsamen Betrieb zu führen, der notwendig war, um das durch den Krieg in Unordnung gebrachte Budget wieder ins Gleichgewicht zu bringen, und darum geht man eben allmählich dazu über, die Bahnen zwar im Staatsbesitz zu behalten, aber von der Hoheitsverwaltung möglichst abzutrennen. In dieser Richtung ist unser Vaterland vorangegangen.

Nun, nachdem die neue Verwaltung schon fast vier Monate am Werk ist, wird das Interesse der Öffentlichkeit natürlich immer größer und die Frage immer brennender, ob die bisherigen Erfolge und insbesondere die Aussichten für die zukünftige Entwicklung den Hoffnungen entsprechen, auf denen die neue Organisation sich gründet, denn von der Erfüllung dieser Hoffnungen hängt doch in letzter Linie, sofern sich ihnen nicht sonstige, derzeit nicht absehbare Schwierigkeiten entgegenstellen, die Sanierung Österreichs ab.

Diese Frage will ich Ihnen, meine Herren, soweit ich es nach meinen bisherigen Erfahrungen tun kann, beantworten.

Als ich mich nach längerem innerem Kampf entschlossen habe, das Präsidium der Verwaltungskommission zu übernehmen, drückten mich noch manche Skrupel und Zweifel, handelte es sich doch um ein mir im allgemeinen fern liegendes Gebiet, und war doch in der Öffentlichkeit über den damaligen Zustand der österreichischen Bundesbahnen ein so abfälliges Urteil verbreitet, daß die Aufgabe außerordentlich schwierig erscheinen mußte. Insbesondere erschwerend fiel der Umstand in die Wagschale, daß nach weitverbreiteter Anschauung der tiefgehende Einfluß, den nach den bestehenden Gesetzen die Vertretungen des Personals auch auf dem Gebiete der inneren Verwaltung der Bahnen in Anspruch nahmen, durchgreifende Maßnahmen zur Verbesserung der Sachlage verhindern oder zumindest außerordentlich erschweren mußte. Als besonders schwierige und gehässige Maßnahme erschien auch der notwendige weitgehende Abbau des Personals.

So waren eigentlich damals die Zweifler und Kritiker in der Überzahl, so wie es allerdings in unserm lieben Vaterland allgemein üblich ist.

Ich habe mich aber bei meiner Entschließung, das Amt zu übernehmen, von meinem mir vielleicht angeborenen Optimismus leiten lassen und von meiner Überzeugung, daß sich der gesunde Sinn unseres Volkes und somit auch der Angestellten dem eisernen Zwange der Notwendigkeit fügen werde.

Und heute, meine Herren, kann ich Ihnen mit allen gebotenen Vorbehalten, die einem in immerhin so bewegter Zeit abgegebenen Urteil anhaften müssen, sagen, daß ich mich weder in meinem Optimismus noch in meinen Annahmen bezüglich der Mitwirkung des Personals getäuscht habe.

Zweck meines Vortrages soll nun sein, Ihnen in möglichst kurzen Worten und in möglichst übersichtlicher Form ein Bild zu geben von dem Zustand, in dem wir das Unternehmen übernommen haben, über die neue Organisation und über das, was wir in der Zwischenzeit verfügt und erreicht haben, und schließlich über die noch zu treffenden Maßnahmen, die geeignet erscheinen, das begonnene Werk zu vollenden.

Die frühere Organisation der hoheitsmäßig verwalteten Bundesbahnen beruhte auf dem System weitgehender Dezentralisierung mit einer ausgedehnten Staffelung von Kompetenzen und Kontrollen, einer im Zusammenhang damit herabgesetzten Verantwortlichkeit und einer verringerten Arbeitsfreude aller unterordneten Instanzen bei Ausschaltung jeder persönlichen Initiative. Dieses System hatte insbesondere den charakteristischen Nachteil einer fast gänzlichen Ausschaltung des nach den Ansichten kaufmännisch geschulter Kreise so notwendigen kollegialen Zusammenwirkens, das heißt, eines im kurzen Wege zu erreichenden, den Schriftenwechsel möglichst ausschließenden unmittelbaren Verkehrs der Chefs der einzelnen koordinierten Abteilungen.

Dem Unternehmen haftete aber im besonderen noch das Übel einer übermäßigen Besetzung mit Personal an, eine Nachkriegskrankheit, die allerdings, was anerkannt werden muß, schon unter Einwirkung des alten Regimes eine wesentliche Besserung erfuhr, sowie hier auch festgestellt werden muß, daß auch in anderen Belangen schon unter dem alten Regime sehr bedeutungsvolle und wirksame Maßnahmen ergriffen wurden, um die Verwaltung zu verbessern.

Diese Bemühungen wurden auch von den beiden Sachverständigen Acworth und Herold anerkannt, die, vom Völkerbunds-

kommissär zur Abgabe eines Urteils über die österreichischen Bundesbahnen berufen, ein sehr wertvolles und in vielen Belangen für unser Reformwerk mitbestimmendes Gutachten abgegeben haben, für das wir ihnen sehr dankbar sein müssen. Natürlich war es diesen beiden hervorragenden Sachverständigen nicht immer möglich, die spezifisch österreichischen Verhältnisse, die eine längere Vertrautheit mit den Eigenarten des Landes erfordern, vollkommen zu berücksichtigen.

Der von mir eben geschilderte Zustand des alten Verwaltungsapparates fand, was ich hier besonders hervorheben möchte, seine Auswirkung auch darin, daß jede freie Betätigung der maßgebenden Organe fast gänzlich unterbunden war. Die Ideologie des Staatsbetriebes mit all seinen unkaufmännischen Praktiken hat zum Schluß eine Gedankenrichtung im ganzen Personal hervorgerufen, die darin zum Ausdrucke kam, daß wichtige Fragen nicht so sehr nach der Zweckmäßigkeit, als vielmehr nach der bisherigen Übung, die aufzugeben schier unmöglich erschien, entschieden wurden. Dazu kam ein rein fiskalisches Sparsystem, das sich zum Beispiel darin äußerte, daß einzelne Mitglieder der Verwaltung förmlich aufatmeten, als ich verlangte, sie möchten Reisen und zwar häufige Reisen ins Ausland unternehmen, um fremde Verhältnisse zu studieren. Als ich meine Verwunderung über ihr Erstaunen zum Ausdruck brachte, sagten sie mir, daß früher derartige Reisen durchaus nicht so einfach waren, weil sie aus Ersparnisgründen möglichst vermieden wurden. Jegliche außerbudgetäre Ausgabe, jede Bewilligung noch so kleiner, aber dringend notwendiger und in ihrer Wirkung ausschlaggebender Ausgaben war eine schwierige, zeitraubende und schließlich deshalb gar nicht mehr unternommene Sache. Das ist ein kleiner Ausschnitt aus dem Bilde, der einen Einblick in die Verhältnisse eröffnet, aber meine Herren, ein sehr charakteristischer und bezeichnender Ausschnitt. Und gerade die Unmöglichkeit für die in jahrzehntelanger Erfahrung und Übung an ein hergebrachtes System Gewöhnten, sich davon freizumachen und die Bedürfnisse des Alltags unmittelbar auf sich wirken zu lassen, war nach meiner bisherigen Erfahrung die Hauptursache für das Versagen des früheren Systems. So war der ganze Apparat ohne sein Verschulden verknöchert, die Arbeitslust hervorragend tüchtiger und ausgezeichneter Kräfte infolge der andauernden Erfolglosigkeit ihrer Bestrebungen unterdrückt.

Dieses System zu brechen, habe ich als meine erste Aufgabe angesehen, und mehr als alle andern spezifisch organisatorischen Maßnahmen werden meiner innersten Überzeugung nach die Abkehr von diesem rein bürokratischen System, die Einimpfung neuen freieren Geistes, die Erweckung eines stärkeren Gefühles für Verantwortung, von Arbeitslust und Arbeitsfreudigkeit das Sanierungswerk fördern und der Vollendung zuführen.

Der Vorstand und die neue Generaldirektion — und nichts von all dem, was bisher geleistet wurde, gereicht mir zur größeren Befriedigung — arbeiten bereits in diesem Geist und sind erfolgreich bemüht, auch den ihnen unterstellten Organen des Zentraldienstes und der Exekutive das Verständnis für die neue Art der Betätigung einzuimpfen und in ihnen zu vertiefen. Erst wenn dieser Geist bis in die untersten Dienststellen vorgeschritten sein wird — er kann natürlich nur verhältnismäßig langsam vorwärtsschreiten —, erst wenn bei allen Beamten und Angestellten die Überzeugung durchgegriffen hat, daß nur eine solche Art der Betätigung eine gedeihliche Arbeit verbürgt, erst dann wird man sagen können, daß die Sanierung durchgeführt ist. Denn ist dieser Geist möglichst in alle Organe eingedrungen, dann werden auch alle selbsttätig für vernünftige Reformen gewonnen sein, weil die Untergebenen das Vertrauen haben werden, daß ihre Führer sich bei allem, was sie tun, nur von sachlichen und auf das Wohl des Ganzen bedachtnehmenden Gründen leiten lassen.

Es ist mir eine ständige Freude und Genugtuung, zu beobachten, wie die Organe des Vorstandes und der Direktion in kollegialem, von jeglicher Reibung freiem Zusammenarbeiten an dem Reformwerk mitschaffen, wie sie nur bemüht sind, dem Ganzen zu dienen, wie Fragen, die früher Monate lang zu ihrer Austragung brauchten, in wenigen Tagen, ja in Stunden nach einer einfachen Rücksprache erledigt sind und wie in ihnen sich moralische Energien geltend machen, die, wenn sie auch früher vielleicht — ich möchte sagen subkutan — vorhanden waren, nunmehr zur vollen Entfaltung gelangen. Es ist mir eine Bestätigung meiner in vielseitiger industrieller Tätigkeit so häufig gemachten Erfahrung, daß der Tüchtigste, zur Ohnmacht verurteilt, erschlafft und selbst minder tüchtige und mittelmäßige Kräfte sich ungeahnt entfalten, wenn sie sehen, daß ihre Mitarbeit wirkliche und dauernde Erfolge bringt. Heute gibt es in der Generaldirektion der Bundesbahnen nicht mehr Techniker und Juristen, sondern es gibt nur Beamte eines Unternehmens, die ohne Neid und ohne Mißgunst in voller Eintracht zusammen arbeiten, ein großer und verheißungsvoller Fortschritt, wenn Sie sich daran erinnern, wie noch vor kurzem eine heftige Fehde zwischen Technikern und Juristen bestand, die bei jeder Frage zum Durchbruche kam und die Lösung des Problems in den Hintergrund drängte.

Meine Herren! Wenn ich mich bei diesen allgemeinen Bemerkungen länger aufgehalten habe, so geschah es, weil ich, wie bereits bemerkt, gerade diesen mehr moralischen als materiellen Motiven eine außerordentlich große Bedeutung beimesse.

Ich habe gesagt, daß die Verwaltung früher im allgemeinen weitgehend dezentralisiert war. Diese Dezentralisation mag am Platze gewesen sein zu einer Zeit, als die ehemaligen österreichischen Staatsbahnen noch ein Netz von nahezu 20 000 Betriebskilometern aufwiesen, sie ist nicht am Platze für ein Netz von nur 5300 km und nach Einbeziehung der Südbahn von etwa 6200 km. Deshalb war es unsere erste Sorge, die dezentralisierte Betriebsform in eine möglichst zentrale zu überführen, alle entbehrlichen Dienststellen aufzulassen oder zumindest möglichst zu verkleinern. Neben dem ehemaligen Ministerium nahmen den wichtigsten Raum in der Verwaltung der Bundesbahnen die örtlich abgezweigten, der Verwaltung eines abgegrenzten Teiles des Bahnnetzes gewidmeten Bundesbahndirektionen ein. Solche Bundesbahndirektionen bestehen derzeit fünf. Zwei in Wien, Nordost und West, je eine in Linz, in Innsbruck und in Villach. Früher waren die Bundesbahndirektionen im allgemeinen regional und nicht Liniendirektionen. Ihre Entstehung war zum Teil auch auf politische Motive zurückzuführen, die ja gleichzeitig mit den militärischen im alten Hoheitsstaate so viele schwere und nicht leicht reparable Mängel verursacht haben. So zum Beispiel ist die Direktion Villach außerordentlich ungünstig gelegen, sozusagen am Rande des Netzes. Diese Mängel, die aus strategischen, politischen und sonstigen Rücksichten entstanden sind, und an denen das neue Unternehmen schwer zu tragen hat, sind natürlich heute nicht mehr oder nur schwer zu beheben, und ich will mich deshalb damit auch nicht weiter befassen, denn es hätte wenig Zweck, sich über Dinge zu unterhalten, die eben hingenommen werden müssen. Nur um zu zeigen, wie schwer es ist, auch dort, wo man eine Reform als richtig anerkannt hat, sie unbekümmert durchzuführen, will ich darauf verweisen, daß derzeit schon der katastrophale Wohnungsmangel Maßnahmen verhindert, die sonst auf der Hand liegen. So zum Beispiel erscheint die Verlegung der Bundesbahndirektion Villach eben mit Rücksicht auf den Wohnungsmangel derzeit unmöglich.

Die Verkleinerung des Netzes erheischt gebieterisch die Zentralisierung der Organisation. Unter die Maßnahmen, die zu diesem Behuf ergriffen worden sind, oder deren Ergreifung bereits bestimmt ist, gehört vor allem die möglicht weit gehende Konzentration des gesamten Dienstes bei der Generaldirektion in Wien und eine dementsprechende Reduktion in den Befugnissen bezw. im Wirkungskreis der Bundesbahndirektionen. Die letzteren sollen in Zukunft auf jene Tätigkeiten beschränkt werden, die der Betrieb, der Verkehr und der Bau- und Bahnerhaltungsdienst der in ihrem Wirkungsgebiete gelegenen Strecken bedingen, sowie auf eine möglichst verringerte kaufmännische Betätigung, die der unmittelbare Verkehr der Bahnbenutzer mit dem Bahnunternehmen erfordert.

Alle übrigen Dienstzweige sollen bei der Generaldirektion vereinigt werden. Dadurch wird der Personalstand der Bundesbahndirektionen namhaft verkleinert werden können. Nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der bei den Bundesbahndirektionen Entbehrlichen wird zur Erledigung der bei der Generaldirektion zuwachsenden Agenden verwendet werden. Im Zusammenhang mit dieser Zentralisierung der Agenden steht auch die Zentralisierung der gesamten Einnahmenkontrolle in einer einzigen Stelle in Wien, während diese Kontrolle bisher an sieben nebeneinander bestehenden Stellen zur Durchführung gelangte. Dadurch wird neben einer weitgehenden Ersparung an Personal auch eine wesentliche Vereinfachung des Dienstes erzielt werden. Diese Neuregelung der Einnahmenkontrolle wird es auch ermöglichen, über die Einnahmen irgend eines Monates schon im nächsten Monat Klarheit zu gewinnen, während bei dem umständlichen Verfahren des bisherigen Systems oft erst nach 3 bis 4 Monaten ein Bild von den Einnahmen des Berichtmonates zu gewinnen war.

Eine ganz wesentliche Vereinfachung wird die Kassengebarung erfahren. Die derzeitige Manipulation basiert auf einer Kumulierung des Kassendienstes für die Einnahmen und Ausgaben in den Stationen, das heißt, die in den Stationen bisher zu leistenden Ausgaben waren zum Teil auch durch Ansammlung der Einnahmen in den letzten Tagen vor den größeren Zahlungen zu decken. Die Folgen waren verhältnismäßig hohe Kassenbestände, die große Barmittel gebunden hielten, und eine immerhin schwierige Kontrolle. In Zukunft werden bei möglichster Trennung des Einnahmen- und Ausgabendienstes die Manipulationskassen vollständig selbständig gestellt werden und daher ihre täglichen Einnahmen sofort durch die Postsparkasse abführen. Die Ausgaben werden in der Regel durch die Zentralstellen, womöglich im Wege des bargeldlosen Zahlungsverkehrs zu leisten und lediglich die Bezüge des exekutiven Personals von den Stationskassen auszuzahlen sein, denen die erforderlichen Geldmittel ausschließlich in der Form von Zuweisungen von Fall zu Fall zur Verfügung gestellt werden.

Schon jetzt ist es uns gelungen, einen sehr wesentlichen Betrag aus den Stationskassen herauszuziehen, und wir werden die nach Maßgabe unserer finanziellen Lage jeweils vorübergehend verfügbaren Beträge durch zinsbringende Anlage bei Banken möglichst günstig zu verwerten trachten.

Auch das Verrechnungswesen wird sehr vereinfacht werden. Die Buchhaltung bei den einzelnen Dienststellen soll aufgelassen und bei der Generaldirektion in Wien konzentriert werden. Die Direktionen werden in Zukunft nur eine Primanota und ein

Saldakonti führen. Die Buchhaltung wird unter vollkommener Auflassung der Kameralistik in Anlehnung an die kaufmännische Betriebsform in einer den modernen Anschauungen entsprechenden Weise durchgeführt werden.

Diese Reform wird nicht nur eine namhafte Ersparung an Angestellten, sondern vor allem auch die Übersichtlichkeit erbringen, die bei einem so verzweigten Betriebe, wie es die Bundesbahnen sind, notwendig ist, und den raschen Einblick in die augenblickliche Sachlage ermöglichen, die eine der ersten Voraussetzungen für eine sparsame Betriebsführung ist.

Während bisher, wie auch im Berichte des Sir William Acworth hervorgehoben, auch in kleineren Stationen die dienstlichen Arbeiten der einzelnen Angestellten spezialisiert waren, so daß jeder Angestellte nur die seiner Dienstbestimmung entsprechenden Manipulationen zu verrichten hatte, selbst dann, wenn durch die spezielle Arbeitsverrichtung seine Arbeitszeit nur zum geringen Teile wirklich ausgefüllt war, soll in Zukunft der Angestellte über die ihm systemmäßig zugewiesenen Aufgaben hinaus auch zu anderen Arbeiten herangezogen und dadurch seine Arbeitskraft besser ausgenutzt werden. Mit der Einführung dieser wirtschaftlicheren Verwendung der Angestellten, die natürlich ein eingehendes und durchgreifendes Studium von Station zu Station erfordert, wurde bereits begonnen.

All diese im Einvernehmen mit den Organisationen der Angestellten vorzunehmenden Arbeiten stehen in der Durchführung und werden teilweise schon in der nächsten Zeit zum Abschluß gelangen. Sie werden in ihrer Summe neben der notwendigen Klarheit der Gebarung auch eine nennenswerte Ersparnis aus dem Titel der Personalausgaben ergeben. Außerdem erstreckt sich die Reform der Verwaltung vorläufig noch auf die Abtrennung und Zentralisation des Werkstättendienstes sowie auf die Vereinigung der Materialbeschaffung in einer Stelle, Maßnahmen, auf die ich ebenso wie auf manche andere im folgenden noch zurückkommen werde.

Die Unternehmung „Österreichische Bundesbahnen" hat am 1. Oktober 1923 die treuhändige Verwaltung des gesamten Vermögens der österreichischen Bundesbahnen übernommen. Sie hat zum 1. Oktober 1923 eine Eingangsbilanz aufzustellen.

In dieser Eingangsbilanz werden die Anlagewerte den auf Österreich entfallenden Anteil des gesamten ehemaligen Vermögens der österreichischen Staatsbahnen ausweisen, und es werden bei der Feststellung dieser Anlagewerte Tilgungen durchgeführt werden, die der Abnutzung derselben vom Tage der Beschaffung bezw. vom Tage der Übernahme dieser Anlagewerte entsprechen. Sämtliche Anlagewerte sind unter Berücksichtigung des jeweils bestehenden Kurses in Gold ermittelt, und der summarische Goldwert ist sodann mit einem Kurse von 14400 in österreichische Kronen umgerechnet.

Wir beabsichtigen in Zukunft mit der bisherigen Bilanzmethode zu brechen, die unter Verzichtleistung auf Tilgungen den weitaus überwiegenden Teil der Ersatzanschaffungen und alle Erhaltungen auf Betrieb buchte, wodurch natürlich eine sehr ungleichmäßige Belastung der einzelnen Jahre verursacht wurde. Wir wollen vielmehr alle derartigen Neuanlagen auf Anlagekonto buchen, wogegen durch die Schaffung eines Tilgungsfonds bezw. durch zu vollziehende Abschreibungen für den rechtzeitigen Ersatz unbrauchbar gewordener Einrichtungen, Fahrbetriebsmittel usw. gesorgt werden soll. Vollkommen auf Betrieb sollen auch fernerhin alle für die Bahn- und Bauerhaltung gemachten Ausgaben gebucht werden.

Dies vorausgeschickt, will ich versuchen, den Herren ein Bild von der voraussichtlichen zukünftigen Entwicklung des Unternehmens zu geben, indem ich dabei von den Ergebnissen des Jahres 1923 ausgehe, die allerdings bis heute noch nicht endgültig vorliegen, über die aber ein angenähertes Bild wohl schon gegeben werden kann. Nach dem seinerzeitigen Budget für das Jahr 1923 wurde mit einem Verlust von ungefähr 1300 Milliarden Kronen gerechnet, der sich aber trotz fühlbaren Zurückbleibens der Einnahmen durch eine noch größere Ermäßigung der Ausgaben wahrscheinlich auf die Summe von 1000 bis 1100 Milliarden Kronen verringern wird. Die mit rd. 2850 Milliarden Kronen präliminierten Einnahmen sind gegenüber dem Voranschlage durch eine nicht entsprechende, insbesondere durch die Verhältnisse in Deutschland verursachte Entwicklung des Verkehres um 350 Milliarden Kronen zurückgeblieben, während die präliminierten Ausgaben von rd. 4150 Milliarden Kronen eine Ermäßigung um 650 Milliarden Kronen erfahren haben.

Wir müssen also bei Schlüssen auf die Zukunft von einem Verlustsaldo von ungefähr 1050 Milliarden Kronen ausgehen. Bei der Kritik dieser Ziffer muß hervorgehoben werden, daß darin der Zinsendienst für die verschiedenen Anleihen, Prioritätsschulden usw., nicht aufgenommen ist, während bis zum Oktober 1923 die gesamten, auf die Bundesbahnbediensteten entfallenden Pensionen unter den Ausgaben erscheinen. Nicht einbezogen in die Betriebsrechnung bzw. in die Einnahmen ist die gesamte Verkehrsteuer, die an das Finanzministerium abgeführt wurde, obwohl sie einen dem Bundesbahnbetrieb entspringenden Einnahmeposten darstellt.

Ich will mich hier über die Zweckmäßigkeit dieser Verrechnungsart nicht weiter auslassen. Für den Staat ist es schließlich, solange die Bundesbahnen mit einem den Betrag der Verkehrsteuer übersteigenden Verlust arbeiten, gleich, ob die Verkehrsteuer den sie erzielenden Bundesbahnen verbleibt, oder ob sie an den Bund abgeführt und um eine gleiche Summe der den Bundesbahnen zur Deckung des Defizits zu überweisende Betrag erhöht wird. Deshalb wird auch in der neuen Verrechnung die Verkehrsteuer kassenmäßig den Bundesbahnen zur teilweisen Deckung des Verlustes belassen. Immerhin hat das bisher geübte Verfahren den großen Nachteil, daß der auf die Erzielung möglichster Ersparungen gerichtete Sinn der Funktionäre der Bundesbahnen nachteilig beeinflußt wird, wenn ein Teil der möglichen Einnahmen den Bundesbahnen entzogen oder ihnen nur kassenmäßig gegen Verrechnung überlassen wird. Das wird um so augenfälliger, wenn bedacht wird, daß die unter Einbeziehung der Verkehrsteuer aufgestellten Tarife für den Güter- und Personenverkehr das Höchstmaß darstellen, das unter Berücksichtigung der jeweiligen wirtschaftlichen Lage erzielbar ist. Die Tschecho-Slowakei hat sich denn auch in Erkenntnis dieses Umstandes entschlossen, die aus dem alten Österreich übernommene und nur durch außergewöhnliche Kriegszustände entschuldbare Steuer vorläufig auf die Hälfte herabzusetzen, um sie allmählich gänzlich abzubauen. Für das Jahr 1923 dürfte die für den Bund eingehobene Verkehrsteuer ungefähr 600 Milliarden Kronen betragen.

Die gesamten Ausgaben des Jahres 1923 dürften sich also auf etwas über 3500 Milliarden Kronen, die Einnahmen auf höchstens 2500 Milliarden Kronen belaufen haben.

Zweck der Sanierung muß es sein, diesen Ausgabeposten möglichst zu verringern und die Einnahmen möglichst zu erhöhen.

Wiederholt und mit einigem Rechte wurde der Verwaltung der Bundesbahnen der Vorwurf gemacht, daß sie die Beseitigung des Defizits in sehr bequemer Weise durch bloße Erhöhung der Einnahmen zu erreichen suche.

Bei Untersuchung der Sanierungsmöglichkeiten mußte natürlich geprüft werden, ob durch bloße Ermäßigung der Ausgaben das Gleichgewicht im Budget hergestellt werden kann. Diese Untersuchung mußte sofort zeigen, daß eine solche einseitige Ausgabenermäßigung das Gleichgewicht nicht zu erzielen vermag.

Die Ausgaben des Jahres 1923 bestehen mit ungefähr 55 vH = 1900 Milliarden Kronen aus Materialkosten und allgemeinen Unkosten, mit ungefähr 45 vH = 1600 Milliarden Kronen aus persönlichen Ausgaben.

Unter den sachlichen Ausgaben nehmen die Brennstoffe, die zum überwiegenden Teil, d. i. mit ungefähr 85 vH, aus dem Ausland eingeführt werden müssen, die erste Stelle ein.

Der Aufwand an Brennstoffen im Jahre 1923 wird ungefähr 6000 t Heizöl, 10 000 t Schmiedekohle und Koks und 1 675 000 t Stein- und Braunkohle (die 2 275 000 t Normalkohle mit einer Verdampfung von 4,4 kg entsprechen) mit einem Gesamtgeldaufwande von 900 Milliarden Kronen betragen haben.

Im weiteren Abstand stehen Metalle und Metallegierungen mit ungefähr	80 Milliarden Kronen
Oberbaumaterial und Brückenkonstruktionen mit über	60 „ „
Schmiermaterial für die Fahrbetriebsmittel mit annähernd	50 „ „

Bei Übernahme der neuen Verwaltung war es sofort Gegenstand einer eingehenden Untersuchung, inwieweit bei der Materialeindeckung Ersparungen erzielt werden könnten. Da die Ausgaben für Kohle fast die Hälfte der gesamten sachlichen Ausgaben ausmachen, wurden die vorhandenen Abschlüsse, die das Unternehmen leider auf sehr lange Zeit, zum Teil bis zum Jahre 1930, gebunden hatten, einer genauen Prüfung unterzogen. Dabei konnte festgestellt werden, daß viele dieser Abschlüsse, die vielleicht unter den außerordentlich schwierigen Nachkriegsverhältnissen, da Kohle überhaupt nicht zu beschaffen war, noch gerechtfertigt erscheinen konnten, den heutigen Verhältnissen nicht mehr entsprechen und den Bundesbahnen eine Last auferlegten, die nicht zu tragen war. Ähnliche Verhältnisse wie bei Kohle zeigten sich auch bei den andern Materialien, bei Schmiermaterialien außerdem noch der Umstand, daß der Bedarf daran für die Einheit der Leistung ungefähr das Doppelte von dem darstellte, was andere Staaten, so auch die Schweiz, die unter ähnlichen Verhältnissen arbeitet, tatsächlich verbrauchen. Die unhaltbaren Zustände in der Art der Materialeindeckung haben mich veranlaßt, als eine der ersten Maßnahmen eine vollkommene Konzentrierung der Materialbeschaffung in einer der Generaldirektion eingegliederten Beschaffungsdirektion ins Auge zu fassen, der nunmehr die gesamte Materialbeschaffung, die bisher an vielen Stellen, so auch nach Bundesbahndirektionen getrennt, bestanden hat, unterliegt. Da gerade diese Abteilung in einem ganz hervorragenden Maße an der Erzielung von Ersparungen mitzuwirken hat und in keiner Abteilung so wie in dieser der lebendige Kontakt mit der Geschäftswelt und die langjährige Erfahrung in der Behandlung von geschäftlichen Angelegenheiten erforderlich war, wurde an die Spitze ein Herr mit großer industrieller Erfahrung berufen und ihm zur Durchführung seiner schwierigen Aufgabe auch noch andere Herren aus der Privatpraxis zugeteilt.

In Zukunft werden also der gesamte Materialeinkauf und die ganzen Materialnachweise sowie, was besonders notwendig erscheint, auch die gesamten für die Verteilung der Materialien in Betracht kommenden Materialmagazine dieser Abteilung unter-

stellt und ihr ein Kontrollrecht auch über die Verwendung aller Materialien eingeräumt sein.

Die neugeschaffene Beschaffungsdirektion hat sich sofort an die schwierige Aufgabe gemacht, die alten und für die Bundesbahnen verhängnisvollen Abschlüsse, insbesondere auf Kohle, rückgängig zu machen. Diese Aufgabe war außerordentlich dornenvoll. Über die Einzelheiten der Frage möchte ich mich aus erklärlichen Gründen hier nicht des weiteren äußern. Jedenfalls aber ist es, was ich mit besonderer Freude feststellen kann, gelungen, alle nachteiligen Abschlüsse, und zwar im gütlichen Einvernehmen mit den interessierten Firmen zu beseitigen und an Stelle dessen Verhandlungen über neue Abschlüsse einzuleiten und zu Ende zu führen, die den derzeitigen Preisverhältnissen vollkommen Rechnung tragen und das Mindestmaß an Preisen darstellen, das heute zu erzielen ist. Ich betrachte gerade die Lösung der Schlußverbindlichkeiten für Kohle als einen der erfolgreichsten Schritte zur Sanierung. Sowie bei Kohle wurde auch bei anderen Abschlüssen eine Stornierung von übertriebene Preisforderungen enthaltenden Verbindlichkeiten erreicht.

Ein wichtiger Schritt wurde aber auch in einem anderen Belange gemacht. An Stelle der bisher beim Bund üblichen und wohl bis zu einem gewissen Grade verständlichen Vergebungspraxis, die dahin ging, daß Lieferungen an das Ausland nur erfolgen konnten, wenn inländische Firmen unverhältnismäßig höhere Preise verlangt hatten, wurde das für die Führung eines kaufmännisch geleiteten Unternehmens einzig mögliche System eingeführt, das jede Lieferung dem ernsten Bestbieter zugesprochen wird, bei grundsätzlicher Aufgabe des bisherigen Verfahrens, wonach jede Lieferung im Wege der öffentlichen Offertausschreibung vergeben werden sollte. Die Bundesbahnen sind kein Betrieb, der dazu berufen erscheinen kann, Wohltätigkeitsakte an einzelnen heimischen Erzeugern zu üben, sondern dessen Zweck es sein muß, nach erreichtem Gleichgewicht im Haushalt dem Staat unnötige Opfer zu ersparen und durch möglichst billige Tarife die Volkswirtschaft zu befruchten und damit auch der heimischen Produktion in einem viel höheren Maße zu nützen, wie es durch eine solche einseitige Begünstigung einzelner Produzenten oder Handelsfirmen möglich ist. Selbstverständlich ist es unser fortgesetztes Bemühen, trotz dieser neuen Art der Vergebung die heimische Industrie, das Gewerbe und den heimischen Handel zu fördern. Mit Ausnahme von Kohle, wo die inländische Erzeugung zur Deckung des Bedarfes nicht genügt, wurden bisher fast alle Aufträge an heimische Firmen vergeben.

Es wird die Herren vielleicht interessieren, an Hand eines Beispieles zu ersehen, in welcher Weise diese nach kaufmännischen Richtlinien behandelte Art der Vergebung dem Unternehmen zum Vorteil gereicht. Zu Anfang des Monats Oktober gelangte der Bedarf an Bekleidungsstoffen für die Eisenbahnbediensteten im Jahre 1924 zur Ausschreibung. Die inländischen Firmen boten ungefähr mit 12¼ Milliarden Kronen, die ausländischen mit 10 Milliarden Kronen die gleiche Menge und die gleiche Güte an. Die Wirkung war, daß die Vergebung an die inländischen Offerenten zum Preise von ungefähr 9¾ Milliarden Kronen erfolgte, wodurch bei diesem Geschäft allein 2½ Milliarden Kronen erspart wurden. Sobald die Interessenten sahen, daß sie nicht mit der Aufrechterhaltung des alten Systems rechnen konnten, sanken die Preise förmlich über Nacht, und die Deckung von neu zu beschaffenden Materialien vollzog sich bei einem bedeutenden Preisabfall, der nicht etwa bloß eine Folge des allgemeinen Preisabbaues war, sondern eine unmittelbare Verringerung des früher verlangten Nutzens bedeutete.

Bei Kohle zum Beispiel hatte sich der Fall ereignet, daß die Lieferung nicht, wie es bei einem so großen Verbraucher wie die Bundesbahnen selbstverständlich wäre, vom Erzeuger oder dem den Verkehr zwischen Erzeugern und Verbrauchern vermittelnden Handelshaus erfolgte, sondern oft aus zweiter und dritter Hand und natürlich mit ganz bedeutenden Zuschlägen.

Natürlich werden wir bei der Eindeckung der Metalle und aller sonstigen Materialien auf die für den Einkauf günstige Marktlage Bedacht nehmen, während die Geschäftslage in der Vergangenheit nicht oder zumindest nur in einem untergeordneten Maße berücksichtigt wurde.

So können wir heute nach einer nahezu viermonatlichen Beobachtung wohl die Hoffnung aussprechen, daß es uns gelingen wird, bei der Eindeckung der für die Bundesbahnen erforderlichen Materialien eine Ermäßigung zu erzielen, die — abgesehen von den geänderten Marktverhältnissen — mit 15 vH des im Jahre 1923 verausgabten Betrages eingeschätzt werden kann. Das wäre eine Summe von nicht weniger als 230 Milliarden Kronen im Jahre.

Diese Summe wäre wohl noch größer, wenn uns die für die Abschlüsse für 1924 geltenden Preise sofort zugute kämen. In Wirklichkeit werden wir aber noch einige Zeit an den zu höheren Preisen verbuchten Lagervorräten zehren.

Abgesehen von der Verminderung unserer Einkaufpreise ist es Gegenstand unserer fortgesetzten Bemühungen, auch den Verbrauch an Materialien möglichst herunterzudrücken, einerseits durch materialersparende Einrichtungen, anderseits durch eine sparsame Verwendung.

Was insbesondere den Kohlenverbrauch betrifft, so bestand ja schon in der Vergangenheit eine den Lokomotivführern zugebilligte Kohlenersparnisprämie, die günstige Wirkungen gezeigt hat und zeigt. Aber auch über das menschlicher Einflußnahme unterliegende Maß an Ersparungen hinaus wollen wir durch entsprechende Einrichtungen Kohlen und Öl sparen. Schon die frühere Verwaltung hat Verbesserungen an den Lokomotiven durch Einführung einer wirtschaftlichen Dampfverteilung in den Lokomotiven durch Anbringung der Lentz-Ventilsteuerung eingeleitet, die nunmehr in schnellstem Tempo zur Durchführung gelangen sollen. Wir haben nach Übernahme des Betriebes sofort eine andre Neuerung eingeführt bzw. die Einführung in die Wege geleitet, die darin besteht, daß die bisher auf die unwirtschaftlichste Weise erfolgende Speisung der Lokomotivkessel durch einen Dampfinjektor durch eine mechanisch vom Gestänge der Lokomotive betätigte Kolbenpumpe ersetzt wird, die gleichzeitig den Vorteil bietet, daß ein Teil des bisher durch den Kamin entströmenden Dampfes zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers verwendet wird. Eingehende Versuche, die sowohl bei den Bundesbahnen als auch bei der Südbahn durchgeführt wurden, haben das Ergebnis gezeitigt, daß diese Art der Kesselspeisung bei fahrenden Lokomotiven eine 20prozentige Ersparung an Dampf- und damit an Kesselkohle ermöglicht, abgesehen von andern Vorteilen, die hier nicht weiter erörtert werden sollen. Wir haben uns deshalb entschlossen, vorläufig 750 Lokomotiven im Jahre 1924 umbauen zu lassen. Das hierfür aufgewendete Kapital wird nach vorsichtigen Berechnungen in 1½ Jahren getilgt sein, so daß wir wohl erwarten können, daß nach durchgeführter Tilgung aus diesem Titel allein eine Kohlenersparung von mehr als 40 Milliarden jährlich entspringen wird.

Eine besondere Aufmerksamkeit widmen wir auch der Ersparung an Öl, und zwar erstens durch eine Herabdrückung des Bedarfes an Öl, das derzeit überreichlich verwendet wird, durch beabsichtigte Einführung von Ölersparungsprämien, und zweitens durch die Anwendung von Ölemulsionen an Stelle reinen Öles, ein Verfahren, das schon anderwärts mit Erfolg geübt wird und das wir auch schon an einzelnen Stellen der Bundesbahnen erfolgreich eingeführt haben. Diese Emulsion besteht aus einer Mischung von Öl mit enthärtetem Wasser, allerdings von für derartige Mischung besonders geeignetem Öl, dessen sorgfältige Auswahl im Stadium der Untersuchung ist.

Dies ungefähr sind die Richtlinien, die wir hinsichtlich der Verringerung des namhaftesten Ausgabepostens, das sind die Materialien, einzunehmen gedenken. Wenn wir alles mit Vorsicht einschätzen, ist wohl anzunehmen, daß wir ceteris paribus, d. h. sofern nicht heute unvorhersehbare Umstände eintreten, mit einer Ersparung aus dem Titel des Materialkontos von ungefähr 250 Milliarden Kronen jährlich rechnen können.

Die zweite Gruppe von Ausgaben sind die Personalausgaben. Sie können in letzter Linie nur durch eine Verringerung des Personalstandes erzielt werden. Während bei der Verringerung der Materiallasten lediglich Geschicklichkeit, eingewurzelter Sparsinn und mancherlei Maßnahmen in Betracht kommen, die eine rein verstandesmäßige Betätigung der einzelnen Organe bedingen, ist der Abbau des Personals gewiß eine Maßnahme, die manchen Konflikt zwischen gefühlsmäßigen Regungen und nüchtern erwägender Vernunft auslösen muß. Wenn man sie durchführt, dann gewinnt man die Kraft dazu nur durch die Erwägung, daß über allem andern das Interesse für den Staat steht und daß kein Glück bestehen kann in einem Staate, der nicht nur seine Selbständigkeit in Frage stellt, sondern sein Leben auf schwachen und leicht erschütterlichen Fundamenten aufgebaut hat. Nur ein wohlfundierter und nach außenhin geachteter, in seinem Innern unabhängiger Staat kann das Glück seiner Bewohner verbürgen. Von dieser Erwägung ausgehend, kann auch der Personalabbau als eine Maßnahme erscheinen, die man eher auf sich nimmt.

Was den Personalabbau betrifft, so lassen sich dabei zwei Etappen unterscheiden. Bei der ersten Etappe ist unter Aufrechterhaltung der bisherigen Organisation eine Verminderung der Angestellten möglich, weil selbst bei dem den bestehenden Verhältnissen Rechnung tragenden Stellenplan ein Überschuß an Personal vorhanden ist. Je größer dieser Überfluß, je reichlicher die Dotierung der einzelnen Stellen ist, desto leichter und ohne Schädigung des inneren Gefüges kann der Abbau vor sich gehen. Wenn dieser Art alles Überflüssige abgeschöpft ist, beginnt die zweite Etappe, das ist jene, die durch eine Änderung der bestehenden Organisation erst weiteres Personal entbehrlich macht. Die Bundesbahnen hatten am 1. Juli 1923 einen Personalstand von ungefähr 89 500 und am 1. Oktober 1923 einen solchen von rund 86 000 Mann. Im Einvernehmen mit den Personalvertretungen, die, was ich hier besonders hervorheben muß, in völliger Erkenntnis der Notwendigkeit am Abbau mitwirkten, gelang es bis zum 31. Dezember 1923, auf einen Stand von etwas über 72 000 Angestellten zu kommen, so daß also innerhalb dieser Zeit über 16 000 Angestellte abgebaut wurden, wovon allein etwa 13 000 auf die ersten drei Monate des Bestandes der neuen Unternehmung entfallen. Es mag sein, daß bei diesem Abbau nicht immer in der rationellsten Weise verfahren wurde. Das ist aber auch gar nicht zu verlangen. Man darf hier nicht auf Einzelheiten sehen, sondern muß den großen Plan unentwegt verfolgen und muß, vor die Wahl gestellt, sich in der Richtung des kleineren Übels entscheiden.

Von diesem Gesichtspunkt betrachtet, werden manche, die an der Durchführung des Abbaues Kritik übten, und insbesondere daran, daß auch einzelne tüchtige Kräfte dem Abbau zum Opfer fielen, ihr Urteil modifizieren müssen. Ich möchte sagen, daß der bisherige Abbau und auch noch ein Teil des folgenden ganz in die erste Etappe fällt. Wohl wurden einzelne Lücken gerissen und das organische Gefüge an manchen Stellen gelockert. Deshalb wollen wir auch einige Monate der Ruhe einschalten, um den notwendigen Ausgleich und das neuerliche Zusammenschweißen des gestörten Gefüges zu ermöglichen, um dann erst im Abbau weiter fortzuschreiten.

Im allgemeinen bin ich der Anschauung, daß der Abbau auf das notwendige Mindestmaß so rasch als möglich durchgeführt werden soll, denn nichts wirkt nachteiliger auf die Dienstfreudigkeit der Einzelnen, als die ständige Sorge, dem Abbau zu verfallen. Es zeugt von vorbildlichem Pflichteifer und Verantwortungsgefühl des überwiegenden Großteiles der Angestellten der Bundesbahnen, daß sie trotz dieser schweren Operation ihren Dienst in klagloser Weise verrichten und damit auch der Welt ein Zeugnis dafür ablegen, daß der österreichische Angestellte auf sehr hoher Stufe steht.

Natürlich bedeutet der Abbau für den Augenblick und für die allernächste Zeit noch keine einschneidende Ersparung, denn da in erster Linie ältere Bedienstete zum Abbau gelangen und den Abgebauten die fälligen Pensionen ausgezahlt werden, wird im Wesen nur der Unterschied zwischen Aktivitätsbezug und Pension ins Ersparen gebracht. Dieser Unterscheid kann kaum mehr als 20 bis 30 vH der Aktivitätsbezüge betragen. Nehmen wir an, daß ein Angestellter der Bundesbahnen im Durchschnitte 22 Millionen Kronen im Jahre verdient, so kann die für die abgebauten Angestellten bewirkte Ersparung mit kaum mehr als 4 bis 5 Millionen Kronen im Jahr angesetzt werden. Am 1. Januar 1923 betrug die Zahl der Angestellten nicht viel unter 100 000, am 31. Dezember 1923, wie bereits angeführt, etwas über 72 000, im Jahresdurchschnitt also etwa 86 000 Angestellte. Da aber der Abbau zum größeren Teil in das letzte Quartal des Jahres 1923 gefallen ist, kann wohl der durchschnittliche Stand eher mit mehr als 86 000, etwa mit 88 000 Angestellten angenommen werden, das heißt gegenüber dem Durchschnitt des Jahres 1923 ist der Anfangsstand des Jahres 1924 um etwa 15 000 Mann niedriger. Es würden also bei einer Ersparung von 4,5 Millionen pro Jahr und Angestellten 67 Milliarden Kronen erspart werden, wenn nur der augenblickliche Stand in Rücksicht gezogen wird. Dazu kommt ein Teil des Abbaues im Jahre 1924, über den ich heute noch nicht sprechen will.

Wenn, wie ich sagte, die sichtbaren Erfolge des Personalabbaues nicht ausschlaggebend sind, so werden sie doch in der Zukunft allmählich ausreifen. Insbesondere muß aber auch darauf hingewiesen werden, daß ein wirklich wirtschaftlicher Betrieb nur geführt werden kann, wenn die Zahl der Bediensteten auf ein Mindestmaß verringert ist und wenn jeder Angestellte seinen zugemessenen Wirkungskreis zu erfüllen hat, der ihn voll in Anspruch nimmt und ihm neben der entsprechenden Verantwortung auch die erforderliche Arbeitsfreude verleiht.

Dieser Verminderung der Personallasten durch den Abbau stehen auf der anderen Seite die namhaften Erhöhungen gegenüber, die aus dem Titel der im Dezember 1923 durchgeführten Gehaltaufbesserungen hinzugekommen sind. Es war ein unhaltbarer und auch von der Bundesverwaltung als solcher anerkannter Zustand, daß insbesondere die Angestellten der höheren Verwendungsgruppen auf Bezüge gesetzt waren, die gegenüber der Vorkriegszeit nur einen sehr geringen Teil, vielfach nicht mehr als 25 vH der valorisierten Bezüge, ausmachten. Dieser Übelstand mußte beseitigt werden, weil bei einem derart schlecht bezahlten Personal die Sorge um den Alltag die Arbeitsfreude überschattet. Wenn dabei auch die unteren Kategorien des Personals eine das Schema des Bundes übersteigende Zuwendung erhielten, die allerdings zum Teil in Form einer Wirtschaftsprämie gewährt wird, dann geschah dies aus der gewiß gerechtfertigten Überzeugung, daß gerade die unteren Kategorien der Bundesbahnangestellten einen schwereren und verantwortungsvolleren Dienst zu leisten haben als die Angestellten des Bundes der gleichen Kategorie.

Da ich von Wirtschaftsprämien gesprochen habe, will ich hier noch anführen, daß ich als ein wichtiges Mittel zur Erzielung günstiger Erfolge auch die Verteilung von Prämien ansehe, die dem Großteil der Angestellten die Möglichkeit bieten sollen, die Früchte ihrer Arbeit zu genießen und für erhöhte Arbeitleistung auch ein erhöhtes Einkommen zu beziehen.

Diese Wirtschaftsprämien beziehen sich auf die verschiedensten Gebiete der Dienstleistungen und sind im allgemeinen so aufgestellt, daß sie Elemente erfassen, die der mit der Prämie Bedachte zu beeinflussen imstande ist. So geben die Ersparungen gegenüber den bisherigen Kosten eines Tonnenkilometers, die Ersparungen an Material je Tonnenkilometer, die Erhöhung der Einnahmen je Tonnenkilometer oder die bei der Ausbesserung einer Lokomotive oder eines Wagens gemachten Ersparungen an Bezügen des Personals die Grundlage für die Ermittlung der Prämien. Ich schöpfe aus meiner industriellen Erfahrung die Hoffnung, daß diese Prämien, weil sie, wie gesagt, die individuelle Leistungsfähigkeit oder das Interesse des Einzelnen an der geleisteten Arbeit erhöhen sollen, einen wohltätigen Einfluß auf die Führung des Unternehmens haben werden.

Die Wirkung des Personalabbaues läßt sich natürlich in ihrer finanziellen Auswirkung heute nicht genau ermessen, doch steht das Eine fest, daß der Abbau selbst mit der größten Beschleunigung, allerdings auch unter der gebotenen Bedachtnahme auf die Sicherheit und die Kontinuität des Verkehrs zur Durchführung gelangen wird.

Einen wichtigen Belastungsposten des Ausgabenetats bedeutet der Werkstättendienst. Die Österreichischen Bundesbahnen besitzen acht Hauptwerkstätten, und zwar in St. Pölten, Linz, Knittelfeld, Salzburg, Floridsdorf (Lokomotivwerkstätte), Floridsdorf (Wagenwerkstätte), Jedlesse und Simmering und eine Nebenwerkstätte in Feldkirch. Diese Werkstätten waren bisher den örtlich zuständigen Bundesbahndirektionen unterstellt, ein Zustand, der sich als außerordentlich nachteilig herausgestellt hat, denn da die Werkstätten eines Direktionsbereiches unabhängig von denen der anderen nach allgemeinen Weisungen des Verkehrsministeriums gearbeitet haben, so fehlte das notwendige Einvernehmen zwischen ihnen. Der Begriff der Normalisierung, die doch zur Erzielung niedriger Gestehungskosten unbedingt erforderlich ist und gerade bei einem so großen Wirtschaftskörper vor allem hätte zur Durchführung kommen müssen, war fast unbekannt. Jede Werkstätte oder wenigstens die meisten von ihnen haben nach ihren überlieferten Gewohnheiten gearbeitet, was zum Schluß zu außerordentlich hohen Gestehungskosten führen mußte. Deshalb haben wir die Aufsicht über die Werkstätten einer neu geschaffenen, in die Generaldirektion in Wien eingegliederten Direktion für den Werkstättendienst übertragen und die Werkstätten von den regional zuständigen Bundesbahndirektionen abgetrennt.

Diese neu geschaffene Dienststelle wird besonders darauf hinwirken, daß in den einzelnen Werkstätten möglichst nur Arbeitsleistungen ähnlicher Art unter weitestgehender Anwendung neuzeitlicher Arbeitsverfahren und Auswertung des technischen Fortschrittes bei wissenschaftlicher Betriebsführung (Taylorisierung) durchgeführt werden, so daß zum Beispiel Lokomotiven derselben Serie möglichst nur in einer Werkstätte ausgebessert werden, wodurch naturgemäß eine größere Geläufigkeit und eine raschere Abwicklung der Arbeit bei entsprechender Verbilligung erzielt wird. Unser letztes Ziel ist die möglichste Abtrennung und Sonderstellung des Werkstättendienstes von dem sonstigen Betriebe der Bundesbahnen, ein Reformwerk, das jedoch naturgemäß nur im Einvernehmen mit den Organisationen zur Durchführung gelangen kann und das in letzter Linie auch bezwecken soll, die in der Privatindustrie übliche Arbeitsmethode auch bei den Werkstätten einzuführen.

Bei dieser Gelegenheit will ich erwähnen, daß zum Beispiel vor dem Kriege der Reparaturstand nur bis 20 vH des gesamten Lokomotivstandes betrug, während er sich noch vor ganz kurzer Zeit auf 30 vH hielt, das heißt, daß eine viel größere Anzahl von Lokomotiven gleichzeitig in Reparatur war, was wohl auf zwei Gründe zurückzuführen ist: erstens auf ein durchgreifendes Reparaturbedürfnis der während des Krieges nur notdürftig unter Verwendung von Ersatzbaustoffen erhaltenen Lokomotiven, zweitens aber auch auf eine längere Reparaturzeit, hervorgerufen durch eine geringere Arbeitsleistung der Werkstätten. Schon jetzt hat die Schaffung der Direktion für den Werkstättendienst in Wien eine Besserung der Sachlage herbeigeführt, die, wenn sie auch bisher noch nicht übermäßig in die Wagschale fällt, doch zeigt, daß wir auf dem richtigen Weg sind.

Was im übrigen die Verminderung der Ausgaben betrifft, so sind eine große Anzahl Reformen im Zuge, die sich allmählich auswirken werden. Ich will nur erwähnen, daß wir bemüht sind, den Verkehr von minder gut ausgerüsteten auf gut ausgerüstete Linien zu überführen, daß wir den Nachtverkehr in einer möglichst großen Zahl von Stationen gänzlich eingestellt haben und ihn weiter noch einstellen werden, daß wir das von einer Lokomotive gezogene Bruttogewicht, das im Laufe der Nachkriegszeit durch Minderausnutzung der Lokomotiven sehr stark gefallen war, durch die möglichste Ausnutzung der Lokomotiven unter gleichzeitiger Verminderung der Nebenleistungen erheblich gesteigert haben. Zur Illustration möchte ich anführen, daß die Österreichischen Bundesbahnen zu Beginn des Jahres 1923 zur Bewältigung von 1000 Gesamtlasttonnenkilometern sechs Lokomotivkilometer aufwenden mußten, während es uns in den letzten Monaten des Jahres 1923 gelungen ist, die gleiche Leistung mit nur fünf Lokomotivkilometern zu erreichen. Ebenso wurde ein besonderes Augenmerk der Herabdrückung der Leerläufe der Eisenbahnwagen zugewendet, deren Kosten sehr ins Gewicht fallen, da rd. ⅓ der gesamten Güterwagenkilometer auf Leerläufe entfällt. Während im Januar 1923 die Leerläufe 38 vH der Gesamtwagenleistung betrugen und im Juli noch 36 vH, wurde diese Zahl im Oktober bereits auf 32 vH herabgedrückt.

Eine besondere Aufmerksamkeit wird auch den Bahnhofverhältnissen in Wien gewidmet. Ich möchte hier nur erwähnen, daß der nur noch in geringem Maße belegte Nordwestbahnhof in der nächsten Zeit für den Personen- und öffentlichen Güterverkehr gesperrt wird, wogegen der daselbst ausfallende Verkehr im ganzen Umfang auf den Nordbahnhof übergeleitet werden wird.

Daraus allein wird sich eine namhafte Ersparung ermöglichen lassen.

Eine große Sorge bereitet uns auch die Betriebsführung der zahlreichen, die Bundesbahnen stark belastenden Lokalbahnen. Wir werden Versuche anstellen, um den teuren und bei dem geringfügigen Verkehr ganz unrationellen Lokomotivbetrieb durch die Einstellung von mit Explosionsmotoren ausgerüsteten Triebwagen zu ersetzen. Wie sehr besonders die für eigene Rechnung des Bundes betriebenen Lokalbahnen das Budget belasten, kann man daraus ersehen, daß im Rechnungsabschluß für das Jahr 1922 den Einnahmen von rd. 17,3 Milliarden Kronen Ausgaben im Betrage von nahezu 49 Milliarden Kronen gegenüberstanden, was einen Ausfall von 32 Milliarden Kronen ergeben hat, wobei nicht unvergessen bleiben darf, daß im Jahre 1922 der durchschnittliche Stand der österreichischen Krone noch wesentlich höher war als heute.

Besondere Ersparungen hoffen wir auf dem Gebiete des Bau- und Bahnerhaltungsdienstes zu machen, einem Posten, der, soweit die persönlichen Auslagen in Betracht kommen, bei den Österreichischen Bundesbahnen höher war als bei manchen ähnlichen ausländischen Bahnen. Auch hier wurden bereits namhafte Fortschritte gemacht, und es wurde unter anderm auch die Einführung eines Akkordsystems bei der Erhaltung des Oberbaues versucht, was, soweit die bisherigen Erfahrungen ein Urteil zulassen, günstige Aussichten eröffnet. Weiter ist hier eine ausgedehnte Verwendung maschineller Arbeit an Stelle der Handarbeit in Aussicht genommen.

Im Telegraphen- und Telephondienste wurde von der Bahnverwaltung nach gelungenen Versuchen auf einzelnen Strecken die Mehrfachtelegraphie und -telephonie eingeführt, durch die große Investitions- und Betriebsauslagen erspart werden können, und es sind gegenwärtig Versuche mit einer Sparschaltung für Blockapparate im Zuge, die ebenfalls große jährliche Betriebsersparnisse erwarten lassen.

Im Aufsichtsdienst wurden durchgreifende Vereinfachungen vorgenommen, die die Auflassung von über 600 Wärterposten mit einem Personalstande von 1500 Mann ermöglichten. Die Bundesbahnverwaltung hat auch im Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen initiativ dahin gewirkt, daß unter gewissen Voraussetzungen die Auflassung der Wegschranken auf Hauptbahnen als zulässig erkannt und entgegenstehende gesetzliche Bestimmungen abgeändert wurden.

Die Zahl der Streckenleitungen ist durch planmäßige Vergrößerung der Bezirke bisher um mehr als ¼ verringert, die Zahl der Bahnerhaltungsarbeiter in den letzten Monaten von 16 700 auf 11 300, das ist auf etwa ⅔, herabgesetzt worden.

Das ungefähr wäre über das Kapitel der Ausgaben zu sagen.

Was die Einnahmen betrifft, so bestehen sie in der Hauptsache aus den Einnahmen aus dem Güter-, Gepäck- und Personenverkehr.

Bei Übernahme der Bahnen durch das neue Unternehmen waren die Tarife für den Güterverkehr, im Durchschnitt gerechnet, ungefähr auf der Goldparität, während die Personentarife, nicht gerechnet die ganz besonderen Begünstigungen für einzelne Gruppen, insbesondere für Schüler- und Arbeiterkarten, etwas mehr als das 7000fache des Vorkriegstarifes betrugen und somit kaum die Hälfte der Goldparität erreicht hatten. Diese Tarife schließen aber auch noch die Verkehrsabgabe ein, so daß also der nach der bisherigen Gepflogenheit den Bahnen verbleibende Anteil an den Tarifen nur 77 vH betrug. Es ist erklärlich, daß bei der in den vergangenen Jahren reißend fortgeschrittenen Entwertung unserer Währung und der dieser Entwertung nicht in gleichem Tempo folgenden Steigerung der Einkommen auch die Tarife nicht im gleichen Maße folgen konnten. Nach Maßgabe des vollzogenen Ausgleiches beim Volkseinkommen konnte aber und mußte mit einer Erhöhung der Tarife um so eher vorgegangen werden, als auch die Tarife der übrigen Staaten bereits in einem wesentlich höheren Maße gestiegen waren, als die österreichischen, so daß also unsere Tarife eine direkte Anomalie bedeuteten, was nicht zu verantworten war angesichts eines Unternehmens, das sich in großer Notlage befindet und bei dem, wie schon aus den vorstehenden Ausführungen ersichtlich, eine Sanierung durch bloße Verminderung der Ausgaben nicht zu erzielen ist. Deshalb waren wir gezwungen, die Tarife entsprechend zu erhöhen. Bei dieser Tariferhöhung wurde aber, soweit die Gütertarife in Frage kommen, die Erhöhung nicht mehr wie in den letzten Jahren einfach linear auf Grund der bestehenden Tarife vorgenommen, sondern auf Grund eines neuen Tarifschemas, das als Ergebnis längerer Beratungen zwischen den beteiligten Dienststellen und den verschiedenen öffentlichen Körperschaften einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht und mit den zusammenhanglosen und unlogischen Tarifsätzen der Vergangenheit gebrochen hat.

Wenn auch mit Rücksicht auf die erwähnten Gründe und das unbedingte Streben nach Sanierung der Bundesbahnen im Durchschnitt eine 10prozentige Erhöhung der Gütertarife eingetreten ist, die mithin derzeit ungefähr das 16 000fache der Vorkriegszeit betragen, so wurde doch beim Aufbau des Tarifschemas, wie übrigens durch die seinerzeit erfolgten Veröffentlichungen über dieses Thema den Herren wohl bekannt, besonders darauf Bedacht genommen, daß durch die Erhöhung unsere heimische Produktion möglichst geschont und insbesondere die auf die Ausfuhr angewiesenen Produktionszweige möglichst gefördert werden.

Was die Personentarife, die bedeutend zurückgeblieben sind, betrifft, so beträgt die prozentuale Erhöhung gegenüber dem am 1. Oktober 1923 bestandenen Tarif rd. 30 vH.

Die ab 1. Januar 1924 gültigen Personentarife werden somit das 9200- bis 9300fache der Friedenstarife sein. Damit ist gewiß jene Grenze nicht überschritten, die der derzeitigen Leistungsfähigkeit des großen Durchschnittes der Bevölkerung entspricht. Was nun die Auswirkungen dieser Tariferhöhungen betrifft, so läßt sich darüber natürlich heute noch kein genaues Bild gewinnen, weil es schwer ist, vorauszusagen, welche Entwicklung die österreichische Wirtschaft im allgemeinen und damit auch der Verkehr auf den Bahnen im besonderen nehmen wird, und weil anderseits auch die Einwirkung der Tariferhöhungen auf den Personenverkehr heute noch nicht genau ermessen werden kann, da die Wintermonate im allgemeinen eine stille Saison sind. Ich bin aber in diesem Belang optimistisch. Es ist richtig, daß Europa noch lange nicht jene Ruhe gefunden hat, die notwendig ist, um Handel und Verkehr zu beleben, daß vielmehr häufige Konflikte innen- und außenpolitischer Natur in den verschiedenen Staaten und im Verkehr zwischen den Staaten eine Entfaltung der produktiven Kräfte wesentlich erschweren. Nichtsdestoweniger bin ich jedoch der Meinung, daß wir in Österreich mit zunehmender Sanierung und Beruhigung doch einer Zeit aufsteigender Entwicklung entgegengehen. Ich glaube auch nicht, daß die Tariferhöhungen einen wesentlichen Einfluß auf die Frequenz unserer Bahnen üben werden. Nach vorsichtiger Schätzung kann wohl angenommen werden, daß bei einer mäßigen Entwicklung des Verkehrs und bei einer Auswirkung der Tariferhöhungen mit einer jährlichen Mehreinnahme gegenüber dem Jahre 1923 von wenigstens 275 Milliarden Kronen gerechnet werden kann.

Was die Verkehrsentwicklung betrifft, so erlaube ich mir, Ihnen, meine Herren, in Abb. 1 eine auf den 1. Januar 1919 zurückgreifende graphische Darstellung zu geben. Sie sehen oben die Entwicklung der Verkehrseinnahmen, und zwar für Personen- und Gepäckverkehr einerseits und für den Güterverkehr anderseits, alles umgerechnet auf Goldkronen, und unten die Entwicklung der Verkehrsleistung, ausgedrückt durch die in den betreffenden Zeiten geleisteten Brutto-Tonnenkilometer. Wie aus dem Schaubild ersichtlich, bewegt sich der Verkehr in einer ziemlich stark aufsteigenden Richtung, die uns Hoffnung für die Zukunft nicht nur hinsichtlich der Lage der Bundesbahnen, sondern auch hinsichtlich des Wiederaufbaues unserer staatlichen Wirtschaft gibt, denn schließlich ist die Größe des Verkehrs einer der besten Gradmesser für die Entwicklung der Wirtschaft.

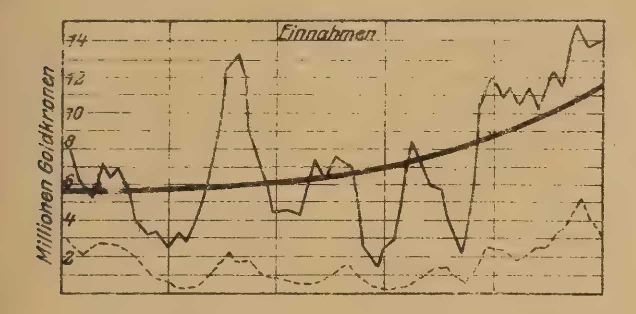
Die rückläufige Bewegung der Verkehrsleistung im Jahre 1923 ist, wie schon früher erwähnt, zum überwiegenden Teil eine Folge der Verhältnisse in Deutschland sowie in einem gewissen Maße wohl auch der Stabilisierung der Valuta. Durch die Stagnation in Deutschland ist der Verkehr mit diesem Staate, besonders auch der Durchzugverkehr deutscher Güter durch Österreich, stark gefallen. Somit hat der Abfall im Jahre 1923 nichts Erschreckendes.

Wenn wir mit ziemlich einschneidenden Tariferhöhungen vorgegangen sind, durch die insbesondere der Personenverkehr getroffen ist, so wollen wir doch auf der andern Seite auch die Annehmlichkeiten des Reisens soweit wie möglich erhöhen, insbesondere dadurch, daß wir die Wagen in einer Weise instandsetzen, die dem Vorkriegszustand möglichst nahekommt, und daß wir auch die Zuggeschwindigkeit, vom neuen Sommerfahrplan beginnend, wieder auf die Friedensgeschwindigkeit erhöhen. Wir gehen dabei von der Überzeugung aus, daß Österreich als ein Land, das auf die Hebung des Fremdenverkehrs besonderen Wert legen muß, durch die Bequemlichkeit des Reisens einen Anreiz zur Benutzung der Bahnen zu geben hat, und daß insbesondere für die Fremden der erste Eindruck, den sie beim Eintritt ins Land empfangen, der ist, den die Ausgestaltung und die Betriebsart der von ihnen benutzten Bahnen auf sie macht.

Zu den Mehreinnahmen aus den Tarifen kommen noch gewisse Mehrerlöse, insbesondere aus dem Bestandzins für den an Fremde verpachteten Bahngrund. Auch hier betrugen die von dem Bestandnehmer geforderten Mieten gegenüber der Vorkriegszeit nur ein im Verhältnis zur Geldentwertung verschwindendes Multiplum. Im allgemeinen kann angenommen werden, daß vor der letzten Erhöhung, zu der wir uns bemüßigt gesehen haben, die Lagerplatzmiete in Wien kaum mehr als das 1500fache betragen hat, während sie jetzt auf das ungefähr 3000fache erhöht wurde, eine Erhöhung, die trotz verschiedentlicher Einwände um so eher gerechtfertigt erscheint, als kein stichhaltiger Grund besteht, aus der Kette der allgemeinen Preiserhöhungen, an der die Mieter der Lagerplätze ohne Scheu auch ihrerseits teilgenommen haben, gerade die Bundesbahnen als notleidenden Betrieb auszuschalten. Die von vielen Seiten in Aussicht gestellte Auflassung von Lagerplatzmieten ist, soweit wir dies heute überblicken können, nicht erfolgt.

Nach dem Gesagten komme ich auf die Bilanz und auf die Verbesserung zurück, die im finanziellen Ergebnis der Bundesbahnen im Jahre 1924 gegenüber dem Jahre 1923 voraussichtlich zu erwarten ist, sofern nicht unvorhergesehene Ereignisse eintreten.

Was die Ausgaben betrifft, so ist eine Ermäßigung derselben aus dem Titel der Materialbeschaffungskosten und der Materialersparung von ungefähr 250 Milliarden Kronen und aus dem Personalabbau, soweit er bisher durchgeführt wurde, von 67 Milliarden Kronen möglich, während die Einnahmen alles in allem bei den heutigen Tarifen eine Erhöhung von nahezu 290 Milliarden Kronen ergeben werden. Aus dem Titel verringerter Ausgaben und erhöhter Einnahmen würde sich also eine Besserung des Zustandes aus dem Jahre 1923 um rd. 600 Milliarden Kronen erwarten lassen, eine Besserung, der anderseits die im Dezember gewährten Gehaltaufbesserungen, die auch auf die Pensionen zurückwirken und alles in allem mit 200 Milliarden Kronen eingesetzt werden können, wovon allerdings ein Teil in Form von Tantiemen gewährt wurde, entgegenstehen. Es würde also nach Auswirkung der derzeit verfügten Maßnahmen bei voller Überweisung der Verkehrsteuer an den Bund eine Besserung um 400 Milliarden Kronen zu erwarten sein, so daß sich das aus dem Jahre 1923 herrührende Defizit von annäherungsweise 1050 Milliarden Kronen auf 650 Milliarden Kronen verringern würde. Dieser Vergleich nimmt auf die geänderte Art der Kontierung und darauf, daß in Zukunft ein Teil



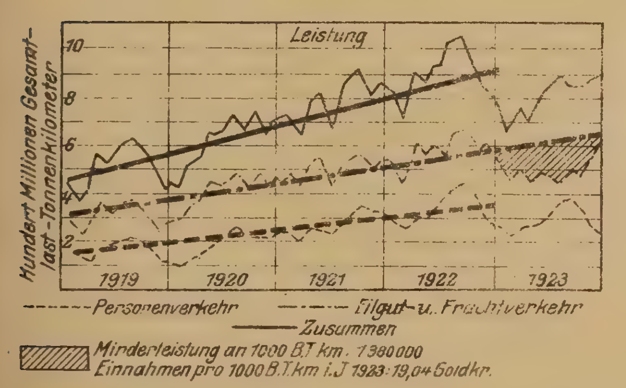


Abb. 1. Verkehrsentwicklung.

Mindererlös für die entfallenen B.T. km	26 275 000 Gkr.
hiervon ab die bei Beförderung der ausgefallenen B.T. km erforderlichen Auslagen für Betriebstoff und Nebengebühren des Fahrpersonales	11 600 000 „
Verschlechterung des Rechnungsabschlusses:	14 675 000 Gkr.

der Pensionslasten für die vor dem 1. Oktober 1923 pensionierten Angestellten vom Bunde getragen wird, keine Rücksicht, weil ja diese Änderungen das Endergebnis vom Standpunkte der staatlichen Finanzwirtschaft nicht beeinträchtigen.

Die weitere Zukunft wird voraussichtlich eine allmähliche Ermäßigung dieser Verluste mit sich bringen:

1. durch weitere systematische und bis ins Einzelne gehende Sparmaßnahmen in sachlicher und persönlicher Hinsicht;
2. durch die zu erwartende Belebung des Verkehrs und
3. durch die allmähliche Verringerung der durch den Abbau stark angeschwollenen Pensionslasten.

Diese Pensionslasten werden nach dem Stande des Abbaues per 31. Dezember 1923 insgesamt 650 Milliarden Kronen betragen, während ein normaler, dem derzeitigen Personalstand entsprechender Stand von Pensionsempfängern das Budget nur mit höchstens 300 Milliarden Kronen belasten würde. Auch aus der Elektrisierung der Bahnlinien Steinach-Irdning-Attnang und Innsbruck-Bludenz, die im Sommer bzw. Ende 1924 vollendet sein werden, werden sich gewisse Ersparungen ergeben.

Ich möchte bei diesem Anlasse noch einen Vergleich mit der Vorkriegszeit anstellen. Die österreichischen Staatsbahnen hatten damals ein Netz von über 19 000 km. Von diesem Netze sind 5300 km auf die österreichischen Bundesbahnen übergegangen, somit ungefähr 28 vH. Die Zahl der geleisteten Tonnenkilometer auf dem derzeit österreichischen Netze beträgt aber nur etwas über 20 vH der auf den ehemaligen österreichischen Staatsbahnen geleisteten Tonnenkilometer, das heißt beim Vergleich des uns zugefallenen 28 prozentigen Netzanteiles mit der 20 prozentigen Leistung geht hervor, daß die Verkehrsgröße auf den Bundesbahnen nur 72 vH von der beträgt, die die alten österreichischen Bahnen aufgewiesen haben. Das bedeutet in letzter Folge, daß die Betriebskosten sich ceteris paribus namhaft erhöhen mußten, denn die Besetzung mit Personal ist nicht eine arithmetische Funktion der Verkehrsdichte, sondern wesentlich auch durch die Netzlänge bedingt, da bei gewissen Kategorien von Angestellten durchaus nicht die Verkehrsdichte, sondern die Netzlänge allein entscheidend ist. Prüfen wir nunmehr die wesentlichsten Elemente, die auf die Gestaltung des finanziellen Endeffektes einwirken, so kann folgendes festgestellt werden:

Die Sachausgaben sind im allgemeinen weit über die Goldparität gestiegen. Sie haben im Jahre 1923 bei Kohle mehr als das Doppelte des Friedenswertes betragen, sie werden im Jahre 1924 noch um 55 bis 60 vH höher sein als vor dem Kriege. Im ganzen wird man nicht fehlgehen, wenn man annimmt, daß die Sachausgaben im Durchschnitt um 40 vH höher sind als vor dem Kriege, das heißt: an Stelle der im Jahre 1924 zu erwartenden Sachauslagen von ungefähr 1550 Milliarden Kronen würden die Bahnen bei dem Preisniveau des Jahres 1913 nur Ausgaben von 1100 Milliarden Kronen haben, somit um 450 Milliarden billiger fahren, wie sie tatsächlich nach Durchführung der Sparmaßnahmen fahren können.

Die Gütertarife betragen ungefähr das 16 000 fache der Vorkriegszeit, die Personentarife das 9300 fache. Nach Abzug der Verkehrsteuer verbleiben 77 vH, somit beim Güterverkehr das 12 300 fache, beim Personenverkehr das 7150 fache für die Bahnen. Die Einnahmen aus dem Personen- und Gepäckverkehr stellen ungefähr 30 vH, jene aus dem Güterverkehr 70 vH der gesamten Einnahmen dar. Aus diesem Verhältnisse ergibt sich eine den Bahnen verbleibende Erhöhung ihrer Gesamteinnahmen auf das 10 700 fache der Vorkriegszeit, das heißt: die den Bundesbahnen verbleibenden Einnahmen betrügen, wenn die Tarife die Friedensparität erreicht hätten, nicht, wie im Jahre 1924 zu erwarten, ungefähr 2600 Milliarden Kronen, sondern $\frac{2600 \cdot 14\,400}{10\,700}$ $= 3480$ Milliarden Kronen, somit um 880 Milliarden Kronen mehr, oder: es stehen den Bahnen um 880 Miliarden Kronen an Ein-

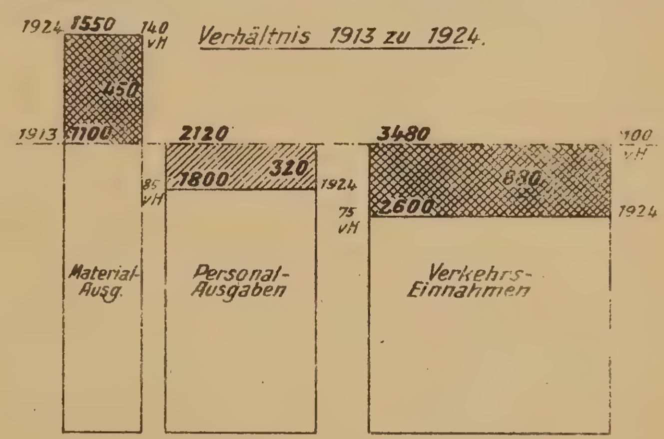


Abb. 2. Hauptelemente der Ausgaben und Einnahmen.

nahmen weniger zur Verfügung, wie sie ihnen zur Verfügung stehen würden, wenn die Tarife nach dem Vorkriegsstande erhoben und die daraus entspringenden Einnahmen ihnen ohne Kürzung durch die Verkehrsteuer verbleiben würden.

Aus dieser Gegenüberstellung geht hervor, daß die Bundesbahnen infolge der dem Weltindex entsprechenden höheren Sachausgaben, infolge der unter der Goldparität stehenden Tarife sowie infolge der Verkehrsteuer ein Mindererträgnis von 1330 Milliarden Kronen aufweisen müssen, wenn alle übrigen Umstände für die Führung des Bahnunternehmens die gleichen bleiben würden wie im Jahre 1913. Diese Ziffer erfordert jedoch noch eine Berichtigung dadurch, daß die Bezüge der Angestellten die volle Vorkriegsparität noch nicht erreicht haben. Der Bezug eines Angestellten betrug im Jahre 1913 durchschnittlich 1800 Goldkronen für das Jahr. Er dürfte sich derzeit auf ungefähr 22 Millionen belaufen. 22 Millionen Kronen entsprechen bei einer Umrechnung mit 14 400 ungefähr 1530 Goldkronen, so daß der Durchschnitt der derzeitigen Bezüge ungefähr 85 vH der Vorkriegszeit beträgt. Nach den erhöhten Bezügen vom Monat Dezember 1923 betragen die Personallasten einschließlich der Pensionen ungefähr 1,8 Billionen Kronen, so daß also, würden die Bezüge die volle Vorkriegshöhe erreicht haben, 2120 Milliarden Kronen bezahlt werden müßten, das heißt, die Ausgabenseite des Budgets wäre um 320 Milliarden Kronen höher belastet. Diese Summe kommt der derzeitigen Betriebsrechnung zugute, so daß sich bei voller Gleichstellung mit der Vorkriegszeit hinsichtlich der drei angeführten Elemente der Ausgaben und Einnahmen eine Besserung des Jahreserträgnisses um ungefähr

1000 Milliarden Kronen ergeben müßte. Diese Gegenüberstellung ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

Und nun noch einige Worte bezüglich der Südbahn:

Wie den Herren bekannt, wird der Betrieb der Südbahn mit Rückwirkung vom 1. Januar 1923 für Rechnung des Bundes geführt. Mit 1. Januar 1924 hat die Unternehmung „Österreichische Bundesbahnen" den Betrieb übernommen. Aus der Übernahme der Südbahn wird sich eine namhafte Ersparung und vor allem eine große Vereinfachung des Betriebes ergeben. Um Schwierigkeiten in der Verkehrsabwicklung, wie sie sich seinerzeit z. B. bei der Übernahme der Nordbahn ergeben haben, zu vermeiden, wird bei der Aufsaugung des Südbahnnetzes durch die Bundesbahnen mit der nötigen Vorsicht zu Werke gegangen. Immerhin aber wird diese Aufsaugung, so wie wir hoffen, im Laufe des ersten Halbjahres 1924 vollzogen sein, so daß die in Liquidation befindliche Betriebsdirektion der Südbahn bis dahin in die Direktion Wien-West aufgegangen sein wird. Schon ab 1. Januar 1924 sind die Südbahninspektorate Klagenfurt für den Betrieb der Kärntner Linien und Innsbruck für die Tiroler Linien den Bundesbahndirektionen Villach und Innsbruck einverleibt worden.

Bezüglich der Fahrbetriebsmittel wurde schon vor der Betriebsübernahme wegen der Freizügigkeit der Wagen das Erforderliche veranlaßt, so daß die bisher notwendigen Formalitäten beim Übergang von Bundesbahn auf Südbahnlinie und umgekehrt entfallen, wodurch allein die Manipulationskosten wesentlich herabgesetzt, die Zahl der Angestellten verringert und der Betrieb leichter und angenehmer gestaltet werden wird. Die Überfülle an Personal bei der Südbahn ist noch wesentlich größer als bei den Bundesbahnen. Während bei den Bundesbahnen zur Zeit der höchsten Einstellung von Personal, das ist noch im November 1922, auf 1 km Betriebslänge rd. 19,5 Angestellte entfielen, betrug diese Zahl bei der Südbahn noch im ersten Semester 1923 ungefähr 35 Angestellte. Hiervon wurden bis Ende 1923 9000 abgebaut, so daß auf 1 km Netzlänge noch immer 23 Angestellte entfallen, gegen ungefähr 13,5, auf die wir ebenfalls Ende 1923 bei den Bundesbahnen gekommen sind. Der Personalabbau bei der Südbahn muß also auch weiterhin mit allen Mitteln betrieben werden.

So glaube ich Ihnen, meine Herren, ein Bild über die Lage der österreichischen Bundesbahnen, über die teils durchgeführten, teils in Aussicht genommenen Reformen auf organisatorischem Gebiet und über die Auswirkung dieser Reformen auf das finanzielle Ergebnis gegeben zu haben.

Ich bin mir bewußt, daß ich im Rahmen dieses Vortrages nur eine skizzenhafte Darstellung der bestehenden Verhältnisse geben konnte. Immerhin aber glaube ich, daß auch dies in Ihnen, meine Herren, die Hoffnung erweckt, daß es unsern fortgesetzten Bemühungen gelingen wird, die Sanierung der österreichischen Bahnen zu einem gedeihlichen Ende zu führen.

Ich will meine Worte nicht schließen, ohne einem Herzensbedürfnis zu folgen und meinen Mitarbeitern im Vorstande, in der Generaldirektion und in der Exekutive, insbesondere aber auch den Personalvertretungen meinen herzlichsten Dank zu sagen für die Bemühungen, die sie aufwenden, um in gemeinsamer Arbeit das erstrebte Ziel zu erreichen.

So wollen wir denn hoffen, daß nach Durchführung dieses für die Sanierung unseres Staates ausschlaggebenden Reformwerkes auch die Bahn frei werde für ein glückliches freies Österreich. [A 122]

Die technische Forschungsarbeit in Österreich.

Von Ing. Dr. Wilhelm Exner, Präsident des Technischen Versuchsamtes, Wien.

Der Verein Deutscher Ingenieure hat im Jahre 1919 ein Handbuch herausgegeben, das den Titel führt „Deutsche Forschungsstätten technischer Arbeit". Im Frühsommer 1923 erschien auch im „Neuen Wiener Tagblatt" eine Artikelreihe unter dem Titel „Unser Besitz an Arbeitsstätten der Wissenschaft und Technik", eine Zusammenstellung von Mitteilungen der Vorstände jener österreichischen Forschungsinstitute und „autorisierten" technischen Versuchsanstalten, die nach ihren planmäßig aufgestellten Zielen dazu berufen sind, die Ergebnisse naturwissenschaftlicher und technischer Arbeit in der industriellen Erzeugung und im Ingenieurwesen zur Geltung zu bringen.

Diese Institute, die der Mehrzahl nach den Charakter öffentlicher, den wissenschaftlichen Kreisen zugänglicher Organisationen haben, wurden von maßgebender Seite in vier aufeinanderfolgenden Sonntagsnummern des „Neuen Wiener Tagblatts" erörtert, ihr Ursprung, ihre Einrichtung und ihre Erfolge dargestellt. Diese Artikelreihe erschien auch im Steyrermühl-Verlag als Tagblatt-Bibliothek Nr. 10/11 und kennzeichnete sich nach den Ausführungen des Vorwortes und nach ihrer ganzen Anlage als Werbemittel. Man wollte das Publikum, das an den industriellen Leistungen interessiert ist, also nicht nur die Produktion selbst, sondern auch den Warenverkehr, mit dem vaterländischen Besitz an Förderungsmitteln neuzeitlicher Art vertraut machen. Und gerade jetzt, in der Aufbauperiode des neuen Kleinstaates, wo die industriellen Arbeitsbedingungen wahrhaftig sehr ungünstig sind, mußte mit besonderer Eindringlichkeit dafür eingetreten werden, daß man sich aller Hilfsmittel des Fortschrittes bediene.

Die in so bescheidener Form auftretende Werbetätigkeit fand viel Anklang und zeitigte auch manche Frucht. Infolgedessen kam man auf einen in der Session 1922 des Beirates des Technischen Versuchsamtes gefaßten Beschluß, eine Nachahmung der anfangs angeführten Veröffentlichung des Vereines deutscher Ingenieure vorzubereiten, zurück und benutzte das inzwischen gesicherte Weitererscheinen der Mitteilungen des Technischen Versuchsamtes, das durch die Einstellung der staatlichen Unterstützung gefährdet war, um in dem letzerschienenen Doppelheft dieser Mitteilungen als Anhang das „Handbuch der auf dem Gebiete der Technik und verwandten Wissenszweige arbeitenden Forschungs-, Versuchs- und Prüfanstalten sowie der diese Anstalten unterstützenden Vereine, Körperschaften und Organisationen" zu veröffentlichen. Dieser Kataster der „Technischen Versuchsanstalten und Forschungsinstitute Österreichs" beruht ausschließlich auf amtlichen Quellen und ist als Sonderabdruck erschienen[1]).

Die Anordnung des Stoffes in der Tagblatt-Bibliothek bildete eine Zusammenfassung der öffentlich zugänglichen Anstalten in Gruppen, nach Wissenschaftszweigen geordnet und allgemeinverständlich geschildert, wobei auf die Lehrkanzeln der Hochschulen verzichtet wurde, da sie nicht verpflichtet sind, Anträge aus den Kreisen der Erzeugung zu berücksichtigen, während anderseits der amtliche Kataster alphabetisch geordnet sämtliche Institute technisch-wissenschaftlicher Art, einschließlich der Hochschulen und Vereine, enthält, im ganzen 108 Stellen, für die möglichst vollständig der amtliche Titel, die Briefanschrift, das Gründungsjahr, der erhaltende Faktor, Arbeitsgebiet und -zweck, Leitung und Personal angeführt erscheinen — also ein Adreßbuch in lexikaler Form. Wer will, kann hier den Weg finden, der zu den Quellen der Erkenntnis und zur Bildung bestimmten Urteils führt auf dem genau umschriebenen Felde der Produktion der Güter und der auf ihr beruhenden Volkswirtschaft.

Die neuzeitliche Technik hat ihre Grundlagen und ihren Aufstieg in Frankreich und England gefunden, und im 19. Jahrhundert gesellte sich Deutschland bei, begeisterte sich an seinen Vorbildern. Die deutsche Kleinstaaterei mit ihren vielen Kulturmittelpunkten bildete bei ihrer Vereinigung zum deutschen Großstaat eine Vielzahl von Quellen, aus denen auch der technische Geist schöpfte. Deutschösterreich und die Sudetenländer waren ja auch Glieder des vielteiligen deutschen Ländergebildes und wurden erst im Jahre 1866 zur Selbständigkeit verurteilt. Aber der hier erbangesessene deutsche Geist konnte von diesem Kulturboden nicht vertrieben werden und vollbrachte auch hier Wunderwerke, die zur Ergänzung des deutschen Kulturbildes in technischer Richtung wohlgeeignet waren. Man hat uns von der deutschen Großmacht auszuschließen verstanden — staatlich genommen —, aber die ältesten Technischen Hochschulen auf deutschem Boden, Graz, Prag, Wien, taten ihre Schuldigkeit, und die Begabung der Deutschen in Österreich konnte doch nicht gemindert werden.

Die deutschen Länder folgten dem ursprünglich von Österreich gegebenen Beispiel, machten durch die Gunst der Verhältnisse, in denen die Regierungskunst keine kleine Rolle spielte, Riesenfortschritte, materielle Hilfe war massenhaft vorhanden, besonders seit 1871, und Österreich mußte sich anstrengen, den Vorsprung Deutschlands halbwegs und mit bescheidenen Mitteln wettzumachen. Immerhin besiegte auch hier unser deutscher Geist die in der Reaktion und in der einseitigen Borniertheit zurückgebliebenen Felder, deren Kultivierung sich doch endlich durchsetzte. Im Hinblick auf die Überlieferung unsres Handwerks, auf die Kunstbegabung unsres Volkes, die durch die Berührung mit den anderen Nationen eher Gewinn fand, als Schaden erlitt, auf den vielfach blühenden Gewerbefleiß, der zu zahlreichen mittelgroßen Industriebetrieben führte, endlich angesichts der auftretenden, in mancherlei Zweigen blühenden Großindustrie war für das gewerbliche Bildungswesen ein unermeßliches Betätigungsfeld geschaffen, auf dem wir, dank einigen großzügig veranlagten Beamten und Staatsmännern, Deutschland überflügelten. Das gewerbliche Bildungswesen wurde auch zu dem Zwecke organisiert, um die Reste der nationalen Hausindustrie und die in mißlicher Lage befindliche Heimarbeit zu erhalten oder in bessere Verhältnisse zu überführen.

Was das Versuchswesen anbelangt, sind uns die deutschen Chemiker ebensowenig fremd geblieben wie die Begründer der Materialprüfung von Bauschinger bis Martens. Zur Schöpfung

[1]) Zu beziehen beim Technischen Versuchsamte, Wien IX, Michelbeuerngasse 6.

von Helmholtz und Siemens, der Deutschen Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, blickten wir mit bewundernder Anerkennung empor, die deutschen Technischen Hochschulen gewannen an Zahl, Umfang und Einrichtung den ersten Rang in der Welt, und die deutschen Vereine von Gewerbetreibenden und Technikern sowie einzelne Industrielle von größter Bedeutung errichteten nach Bedarf Versuchsanstalten verschiedenster Art und halfen, naturwissenschaftliche Forschungsinstitute zu begründen und zu entwickeln. Die industriellen Laboratorien der chemischen Großindustrie, der elektrotechnischen Riesenunternehmungen, der eisen- und metallverarbeitenden Werke und der Maschinenbauanstalten wirkten vorbildlich für die kleineren Betriebe und heischten von den Führern der Wissenschaft und ihren Jüngern alle mögliche Art von Befruchtung. So kam es, daß Deutschland seine Vorfahren auf dem Gebiete der Experimentalforschung im europäischen Westen und in Italien fast in allen Zweigen überflügelte und uns, vielfach beengt und bedrängt, zurückließ. Aber trotz alledem schreiten wir mutig auf der Bahn des Fortschrittes, die nicht ausschließlich von fremden Gestirnen erleuchtet wird.

Mit welcher Zähigkeit man in Österreich an dem modernen Gedanken festhielt, durch Forschungs- und Versuchswesen die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in technischer und wirtschaftlicher Richtung zu heben, beweist wohl am besten die Tatsache, daß während des Weltkrieges, der doch auf so vielen Gebieten friedlichen Schaffens die Tatkraft lähmte, drei Versuchsanstalten eröffnet wurden, von denen zwei schon vor dem Jahre 1914 vorbereitet waren, eine jedoch erst während der drangvollen Zeit des Krieges begründet wurde. Es sind dies die seither zu großem Ansehen gelangten Versuchsanstalten für Schiffbautechnik und für Kraftfahrzeuge und die Versuchsanstalt für Müllerei, Bäckerei, Hefeerzeugung und verwandte Gewerbe, der hoffentlich noch eine nachhaltige und wirksame Entwicklung beschieden sein wird.

Aus der Kritik der sogenannten industriellen Kriegzentralen ging ein Forschungsinstitut für Textilindustrie hervor, dessen Begründung um so wichtiger für Österreich in dem Momente wurde, wo mit dem Verluste der Sudetenländer der Monarchie auch die beiden einzigen technischen Versuchsanstalten für Textilindustrie in Brünn und Reichenberg verloren gingen. Die in der Benutzung des Forschungsinstitutes und der Versuchsanstalt für Textilindustrie, welche im Vergleich zu den deutschen Anstalten, man könnte sagen, kümmerlich eingerichtet werden mußten, zögernde österreichische Industrie wendet sich nun in auffallend wachsender Teilnahme dieser Einrichtung zu, die nicht nur die bestehenden Erzeugungsstätten und den handelsmäßigen Verkehr in Textilien zu beraten hat, sondern auch bei der Schaffung jener Einrichtungen mitwirken soll, die vorhandene Lücken ausfüllen müssen, um die Republik Österreich auf dem Gesamtgebiete der Textilindustrie vom Auslande unabhängig zu machen. Infolge der noch immer bestehenden schädlichen sogenannten Schutzzollpolitik, die alle unsere Nachbarstaaten von uns künstlich abtrennt und uns dadurch zu gleicher Handelspolitik zwingt, muß, da wir auf diese Art den freien Verkehr vermissen, jedes Land, also auch wir, dafür Sorge tragen, daß sich das Volk unabhängig vom Auslande ernähren und bekleiden könne. Der Freihandel würde im Gegensatz hierzu die Möglichkeit geben — uns und den anderen Völkern —, uns auf die natürlichen Hilfsquellen zu stützen und allenthalben eine besonders weitgehende Ausbildung der Fachzweige eintreten zu lassen, die der Gesamtkultur zustatten käme.

Es kann mit großer Befriedigung festgestellt werden, daß trotz des Zusammenbruchs des Großstaates Österreich und trotz des abscheulichen Friedenspacktes von Saint Germain, der uns aufgezwungen wurde und der einen großen Notstand zur Folge hatte, ein Abbröckeln der Zahl unsrer technisch-wissenschaftlichen Arbeitstätten bis jetzt nicht stattgefunden hat. Diese geradezu bewunderungswürdige Tatsache ist in erster Linie der idealen Begeisterung jener Männer zuzuschreiben, die trotz mißlicher Existenzverhältnisse hingebungsvoll dem wissenschaftlichen Arbeitsfelde treu bleiben, so wie dies auch in Deutschland der Fall ist. Ja noch mehr, wir streben nach Erweiterung und Vervollständigung und haben sogar durch die vor wenigen Jahren erfolgte Eröffnung eines Technischen Museums für Industrie und Gewerbe eine Stätte nicht nur für allgemeine Bildung des technischen Geistes in der Bevölkerung geschaffen, sondern auch, um sie in wissenschaftlicher und technohistorischer Richtung anzuregen. Auch das Technische Versuchsamt hat eine „Ständige Ausstellung von Behelfen für das technische Versuchswesen“ errichtet und dem Publikum zugänglich gemacht.

Sogar die Wiener Messe kann für die Anwendung der technisch-wissenschaftlichen Geistesarbeit im gesamten Kulturleben des Volkes wichtige Dienste leisten und die Messebesucher, die doch als eine Auswahl von tüchtigen Arbeitsmenschen aufgefaßt werden können, wären einzuladen und zu veranlassen, jenen Erweiterungen ihre Aufmerksamkeit zu schenken, die für ihren Handelszweig wissenschaftlich tätig sind. Dabei reichen sich idealer Sinn und materielle Vorteile die Hand. [A 132]

Wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit in Österreich.

Von Ing. Dr. jur. J. Tomaides.

Die wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit weist nicht nur in Österreich, sondern auch in anderen Ländern deutlich zwei Entwicklungsstufen auf. Die erste ist die Form, wie sie von verschiedenen Einzelvereinen — wir wollen uns hier nur mit den technischen befassen — bereits seit Jahrzehnten geleistet wurde, und die zweite ist die Gemeinschaftsarbeit, wie sie z. B. in Deutschland von den im Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk vereinigten Stellen geleistet wird, d. s.: NDI, AWF, Hauptstelle für Wärmewirtschaft, Ausschuß für technisches Schulwesen usw.

Während die Vereine in den meisten Fällen in erster Linie ihre Aufgaben darin sahen, sich für die Wahrung der Standesinteressen einzusetzen und erst in zweiter Linie wissenschaftliche Bestrebungen verfolgten, dabei meist auch in dieser Richtung auf die Teilnahme ihrer Mitglieder beschränkt waren, haben die neuen Stellen das Bestreben, rein praktische volkswirtschaftliche Ziele zu erreichen und sich hierzu der Mitarbeit aller Interessenten zu versichern, die sich allgemein als Erzeuger, Händler, Verbraucher und Wissenschaftler erfassen lassen.

Zieht man für Österreich die erste Form in Betracht, so müssen hier vor allem der Österreichische Ingenieur- und Architektenverein, welcher auf einen 75jährigen Bestand zurückblicken kann, der elektrotechnische Verein und der Verein österreichischer Chemiker, der Zentralverband der Architekten und — last not least — der österreichische Verband des VDI genannt werden.

Abgesehen von Vorträgen, welche ja ein von allen verwendetes Verständigungsmittel dieser Stellen sind, kann der Ingenieur- und Architektenverein auf folgende besondere Früchte seiner Tätigkeit zurückblicken:

Aufstellung der Walzträgertypen, Untersuchungen über Dampfkesselschäden, Versuchsarbeiten zur Festlegung der Abnahmeverfahren bei eisernen Brückenkonstruktionen, Festsetzung der Belastungen und Beanspruchungen von Baumaterialien, Studien des Gewölbeausschusses, Bau eines Modelltheaters und Brandversuche an diesem, Schaffung einheitlicher Bestimmungen für die Zementprüfung, Studien des Eisenbetonausschusses, Vorschläge von Bauerleichterungen für Kleinwohnungen, Schaffung von Leitsätzen für die Hohlsteinbauweise, mehrere Studien und Gutachten über den Hochwasserschutz an der Donau und in neuester Zeit die Normungsarbeit auf dem Gebiete der Bauvorschriften, des Verdingungswesens, der Baustoffe, des Brückenbaues und des Tiefbaues

Der elektrotechnische Verein, gegründet 1883, ist satzungsgemäß mehr ein wissenschaftlicher Fachverein und verfolgt hauptsächlich den Zweck, die Interessen der einheimischen Elektrotechnik zu fördern und zu vertreten. Neben Vorträgen befaßt er sich mit der Beratung fachlicher Fragen, Abgabe von Gutachten, Stellungnahme zur gesetzgeberischen Tätigkeit, Bestellung von Sachverständigen und Schiedsrichtern, Förderung fachlicher Versuche usw. Als besondere Arbeitsgebiete wären anzuführen: Die ständige Bearbeitung und Herausgabe der elektrotechnischen Vorschriften, und zwar der „Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen“, der „Vorschriften für Schwachstromanlagen“, der „Vorschriften für Gebäudeblitzableiter“ sowie der übrigen in dieses Gebiet fallenden Sondervorschriften. Diese Bearbeitung erfolgt seit Jahren im engsten Einvernehmen mit dem Verbande deutscher Elektrotechniker. Weiter befaßt er sich mit der Bearbeitung aller, die Elektrizitätswirtschaft und die Elektrizitätsgesetzgebung betreffenden Angelegenheiten. Auch hat der Verein schon vor der Gründung des österreichischen Normenausschusses einzelne Normungsarbeiten durchgeführt. Gegenwärtig bildet er im Rahmen des Österr. Normenausschusses die Abteilung Elektrotechnik. Bei verschiedenen dieser Arbeiten hat sich der Verein jedoch nicht enge an seinen Mitgliederkreis gehalten, sondern zweckmäßigerweise interessierte Körperschaften herangezogen, und zwar den Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, den Verband der Elektrizitäts-Industrie Österreichs, den Reichsverband der konzessionierten Elektrotechnischen Installationsfirmen Österreichs und den österreichischen Ingenieur- und Architektenverein.

Der Verein österreichischer Chemiker, welcher seit 26 Jahren besteht, ist dem Wesen nach ein Standesverband und verfolgt wissenschaftliche Zwecke hauptsächlich durch Vorträge und Diskussionen.

Der Zentralverband der Architekten — Gründungsjahr 1906 — ist mehr oder weniger ein Wirtschaftsverband, hat sich aber satzungsgemäß jegliche Förderung der Baukunst zum Ziele ge-

setzt und verfolgt dieses gleichfalls durch Vorträge, Stellungnahme zu Bauentwürfen usw. In neuester Zeit will er, gleich den übrigen genannten Vereinen, eine eigene Zeitschrift herausgeben, in der richtigen Erkenntnis, daß die Zeitschrift einer der wichtigsten Behelfe ist, um in der breiteren Öffentlichkeit durchzudringen und die Arbeitsergebnisse festzuhalten.

Vom Verbande des VDI an dieser Stelle zu sprechen, hieße Eulen nach Athen tragen.

War für die Bestrebungen dieser Vereine früher immerhin mehr der wissenschaftliche Gedanke der treibende, so trat während und nach dem Krieg der wirtschaftliche Gedanke unbedingt in den Vordergrund und führte in Österreich der deutschen Entwicklung folgend zur Gründung des österreichischen Normenausschusses für Industrie und Gewerbe (ÖNIG), der Gesellschaft für Wärmewirtschaft (GW) und in neuester Zeit des Ausschusses für wirtschaftliche Betriebsführung (AWB).

Schon im Jahre 1918, noch zur Zeit des Bestandes der Monarchie, schritt man daran, dem deutschen Beispiele zu folgen und einen Normenausschuß zu gründen. Es muß rühmend hervorgehoben werden, daß dieser Gedanke schon damals hauptsächlich von dem österreichischen Verbande des VDI ausging und auch vom VDI sehr unterstützt wurde. War es doch Direktor Dr.-Ing. Hellmich selbst, der im Hauptverbande der Industrie vor den Vertretern der wichtigsten Wirtschaftskreise und Behörden den ersten größeren Vortrag in Österreich über Normung hielt. Der Umsturz verhinderte die Ausführung des Planes, bis sich die Industrie des kleinen Österreich im Herbst 1920 aufraffte und unter Führung und seitheriger finanzieller Stützung des Hauptverbandes den ÖNIG schuf, der seinen Sitz auch im Hause der Industrie hat. Spricht man vom österreichischen Normenausschuß, so muß man gleichzeitig Herrn Baurat Ing. Bretschneider, den derzeitigen Vorsitzenden des österreichischen Verbandes des VDI nennen, dessen unermüdlicher Tatkraft es so recht zu verdanken ist, daß Österreich in dieser Richtung einen Vorsprung vor den anderen Nachfolgestaaten aufzuweisen hat. Die Stelle des Präsidenten des ÖNIG bekleidet vom Beginne an der Nestor der österreichischen Technikerschaft, Dr.-Ing. Wilhelm Exner.

Organisatorisch wäre hervorzuheben, daß der ÖNIG aus dem Grundsatz der Arbeitsteilung sich nach dreijähriger Entwicklung in mehrere selbständige Abteilungen gegliedert hat, und zwar: Maschinenbau (Sitz im Industriehaus), Bauwesen (Ingenieur- und Architektenverein sowie Zentralvereinigung der Architekten — letztere hat sich bereits vor der Gründung des ÖNIG mit der Hochbauordnung befaßt), Elektrotechnik (elektrotechnischer Verein), Verkehrswesen (Industriehaus) und Feuerschutz (Feuerwehr-Zentrale, Wien).

Bemerkenswert ist vielleicht noch, daß jede dieser Abteilungen ihr Gebiet systematisch so unterteilt hat, daß sie stofflich geordnet einen Bereich von 10 000 Normblattnummern zur Verfügung hat, wodurch zusammengehörige Normblätter stets in Reihen beisammen zu finden sind.

Der Zusammenhang ist durch die Geschäftsstelle, die Normprüfstelle und den Vollzugsausschuß gewahrt.

Auch dadurch wird ein Nebeneinander- oder Gegeneinanderarbeiten vermieden, daß verschiedene Abteilungen und Ausschüsse gemeinsame Mitarbeiter haben. Das Zusammenarbeiten mit dem NDI hat sich von Anfang an innig gestaltet, und es ist vom Standpunkt des Österreichers mit größter Genugtuung festzustellen, daß auch die Arbeiten und Anregungen des ÖNIG beim NDI immer mehr Beachtung finden.

Auch die Verbindung mit den übrigen Normenausschüssen gestaltet sich namentlich dank der internationalen Konferenzen immer lebhafter.

Um das bisherige Arbeitsergebnis kurz zu kennzeichnen, sei erwähnt, daß bis jetzt 63 Normblätter bezugfertig vorliegen, während 215 Entwürfe zur Kritik veröffentlicht sind und eine ganze Reihe anderer in Bearbeitung stehen.

Gleichfalls im Jahre 1920 wurde auch der Frage der Wärmewirtschaft die richtige Bedeutung beigemessen und unter der Patenschaft des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe, Industrie und Bauten sowie des Hauptverbandes der Industrie Österreichs die „Gesellschaft für Wärmewirtschaft (Verein)" gegründet. Aus verschiedenen Ursachen, die schließlich in finanziellen Schwierigkeiten gipfelten, entsprachen die Ergebnisse — man hatte sich fast ausschließlich mit Kohlenuntersuchungen befaßt, — nicht den gehegten Erwartungen. So entschloß sich der Hauptverband Ende 1922, die Gesellschaft für Wärmewirtschaft gleichfalls ganz unter seine Führung zu nehmen, und die Tätigkeit während des Jahres 1923 läßt die berechtigte Hoffnung zu, daß hier auch weiterhin Ersprießliches geleistet wird. Die Beteiligung an den Beratungen der verschiedenen Arbeitsausschüsse — es wurden deren 24 aufgestellt — ist überaus rege und der Erfahrungs- und Meinungsaustausch in diesen ist, wenn auch zahlenmäßig nicht feststellbar, eine der reichsten Quellen von Anregungen für die Beteiligten. Nach außenhin werden sie dadurch wirksam, daß größere abgeschlossene Berichte in Form von Aufsätzen in der eigenen Zeitschrift zur Veröffentlichung gelangen. Außerdem werden von diesen Ausschüssen verschiedene Merkblätter ausgearbeitet, von denen bereits eine Anzahl vor der Herausgabe steht; des weiteren vermittelt die Geschäftsstelle die Verbindung mit Spezialfachleuten, steht selbst zur praktischen Allgemein-Begutachtung und Beratung von Betrieben zur Verfügung und vermittelt schließlich die Fühlungnahme mit Spezialfachleuten. Vorsitzender der Gesellschaft für Wärmewirtschaft ist gegenwärtig Herr Ing. O. Taußig, Gen.-Dir. der Wiener Armaturenfabrik A.-G.

Ende 1923 wurde im Hauptverbande der Industrie eine neue Stelle gegründet, der Ausschuß für wirtschaftliche Betriebsführung (AWB), der die vom Normenausschuß und der Wärmewirtschaft noch nicht erfaßten technisch-wirtschaftlichen Fragen des industriellen Betriebes erfassen soll und dessen Tätigkeitsumfang vielleicht durch seine vier Hauptgruppen Verwaltung, Personal, Material und Erzeugung gekennzeichnet ist. Der AWB ist auch bereits mit den entsprechenden deutschen Stellen, vor allem dem Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung und dem Ausschuß für technisches Schulwesen in Fühlung getreten, und es wäre nur zu begrüßen, wenn sich auch zwischen diesen Stellen der Gedankenaustausch so lebhaft gestalten würde wie mit dem NDI. Vorsitzender des AWB ist das Vorstandsmitglied des Hauptverbandes Nationalrat Ernst Streeruwitz, Direktor der Neunkirchner Druckfabrik, auf dessen Anregung hin der AWB ins Leben gerufen wurde.

Die drei beschriebenen Stellen bilden zusammen die technische Abteilung des Hauptverbandes und geben gemeinsam eine Zeitschrift heraus, die „Sparwirtschaft", welche unter diesem Titel ab Jänner 1924 erscheint und die bisherigen Mitteilungen des ÖNIG und der GW aufgenommen hat.

Wenn man in der ganzen technischen Welt heute diese fast gleichartigen Bestrebungen nach Wirtschaftlichkeit zutage treten sieht, die zur Lösung durch Erfahrungsaustausch und Nähertreten der maßgebenden Männer und Kreise drängen, so gibt man sich gerne der Hoffnung hin — die bisherigen Fortschritte auf dem Gebiete der Normung berechtigen wohl dazu — daß man auf diesem Wege am ehesten zu einer Zusammenarbeit der verschiedenen Nationen kommen und damit der wahre Völkerbund geschaffen werden wird.

Die Ybbskraftwerke bei Opponitz der Stadtgemeinde Wien[1]).

Die Werke werden in mehreren Stufen ausgebaut, von denen die unterste 1925 in Betrieb kommen dürfte. Hier wird eine 34 km lange Flußschleife zwischen Göstling und Opponitz ausgenutzt und das Wasser durch eine 11 km lange, größtenteils im Stollen verlaufende Oberwasserleitung dem Kraftwerke zugeführt.

Das Wasser wird mittels eines Dachwehres mit zwei Öffnungen von 16 m l. W. und einem 4 m breiten Grundablaß gefaßt, wobei das Wehr bei Eintritt von Hochwasser selbsttätig umgelegt werden kann. Das Betriebswasser gelangt sodann über einen Grobrechen, eine Einlaufschwelle von 16 m Länge und einen Grundablaß für grobes Geschiebe in eine Entsandungsanlage, Bauart Büchi, mit sieben abschließbaren Kammern und sodann über einen kurzen Einlaufkanal in die 10 km lange Stollenstrecke; der Flußlauf wird durch einen 400 m langen Düker gekreuzt. Der Stollen ist durchweg in Stampfbeton ausgeführt und mit einem glatten Zementverputz ausgekleidet. Das Wasserschloß ist derart ausgebildet, daß das Einlaufgerinne zum Teil als Überfall und Leerlaufgerinne dient, zum Teil durch einen Rechen und eine Einlaufschütze in die Druckrohrleitung übergeht. Die einfache flußeiserne Druckrohrleitung hat 238 m Länge bei 2,2 bis 1,8 m Rohrweite.

[1]) Vergl. „Elektrotechnik und Maschinenbau", Wien, Bd. 41 (1923) S. 150 und Bd. 40 S. 411.

Das Nutzgefälle beträgt nach Abzug von 10 vH Verlust 115 m. Bei einer mittleren Jahreswassermenge von 7,5 m³/s (bis 10 m³/s Höchstmenge) beträgt die Turbinenleistung im Jahresmittel rd. 9200 PS. Das Werk erhält drei Spiralturbinen mit Außenregulierung von J. M. Voith von je 4970 PS bei voller Beaufschlagung und 4 m³/s Schluckfähigkeit bei 600 Uml./min. Mit den Turbinen sind je ein Drehstromerzeuger der Österr. SSW von 5000 kVA bei 5000 V und 50 Per./s starr gekuppelt. Die Schaltanlage ist in zwei Stockwerken, je für Hoch- und Niederspannung getrennt, angeordnet. Die Spannung wird durch vier Einphasen-Transformatoren von je 4500 kVA auf 110/120 kV erhöht.

Den hochgespannten Strom überträgt eine 140 km lange Fernleitung nach dem Unterwerk Floridsdorf bei Wien; die Leitung ist bis Gresten als einfache Drehstromleitung, von da ab als Doppelleitung geführt. Als Leiter werden auf der 20 km langen, von der AEG-Union ausgeführten Einfachstrecke Stahlaluminiumseile von 16 mm² Gesamtquerschnitt mit Blitzschutz-Erdungsseilen von 50 mm² aus Stahl verwendet, die Eisengittermaste (insgesamt 757) sind 17,5 bis 20,8 m hoch; die mittlere Spannweite beträgt 200 m. Die von den Österr. Brown-Boveri-Werken auszuführende Doppelleitung erhält sechs Kupferleiter von je 95 mm², die später 36 000 kVA befördern können. Als Isolatoren werden sechsgliedrige Hängeketten mit Kugelkopfisolatoren von Schomburg benutzt. Die Donau wird mittels Weitspannmasten von 46 m Höhe und Bronzeseilen von 20 kg/mm² Festigkeit überquert. Das Schaltwerk in Floridsdorf wird als Freiluftanlage ausgeführt. [M 88] Rb.

1 E-Großgüterzuglokomotiven der österreichischen Bundesbahnen.

Von Ing. J. Rihosek.

Die österreichischen Bundesbahnen haben durch eingehende Versuche mit verschiedenen kohlensparenden Einrichtungen an einer Reihe von Lokomotiven den Nachweis erbracht, daß es noch Mittel und Wege gibt, um die Wirtschaftlichkeit der Dampflokomotive zu erhöhen. Es werden die Versuchseinrichtungen beschrieben und die gewonnenen Ergebnisse mitgeteilt.

Seinerzeit war bei den k. k. österr. Staatsbahnen die ehemalige Kaiser-Ferdinand-Nordbahn die verkehrsreichste Linie und auf dieser insbesondere die Strecke Prerau-Oderberg. Für die Belastung der Züge war die Wasserscheide bei Mähr.-Weißkirchen mit 4,5 vT Steigung maßgebend. Über diese, im Verhältnis zu den sonst fast ebenen Strecken der Hauptlinie große Steigung mußte sich der gesamte Kohlenverkehr aus dem Ostrauer und preußisch-schlesischen Revier nach Österreich abwickeln. Bei dem sich immer mehr steigenden Verkehr wurde die Zugfolge so dicht, daß eine gründliche Entlastung der Strecke nur durch Bau eines dritten und vierten Gleises zu erreichen war und auch schließlich zu diesem Bau geschritten werden mußte.

Als vorangehendes Aushilfsmittel wurde zur Verringerung der Zahl der Güterzüge deren Belastung nach und nach erhöht, was die Einstellung immer leistungsfähigerer Lokomotiven notwendig machte. So folgten auf die 1 C-Naßdampf-Zweizylinder-Verbundlokomotiven der ehemaligen K.-F.-N.-B. Gruppe VIII (Reihe 260 der k. k. St.-B.) die 1 C 1-Trockendampf-Zweizylinder-Verbundlokomotive der Staatsbahn Reihe 329, dann die 1 C 1-Heißdampf-Zweizylinder-Verbundlokomotive Reihe 429 und schließlich die seinerzeit von Gölsdorf für die Arlbergstrecke für Schnellzüge entworfene vorzügliche 1 D-Naßdampf-Zweizylinder-Verbundlokomotive Reihe 170, die somit aus einer Gebirgs-Schnellzuglokomotive eine Flachland-Güterzuglokomotive wurde. Die Belastung der Züge wurde durch Einstellung der genannten Lokomotivbauarten nach und nach von 800 auf 1000 und schließlich auf 1450 t erhöht.

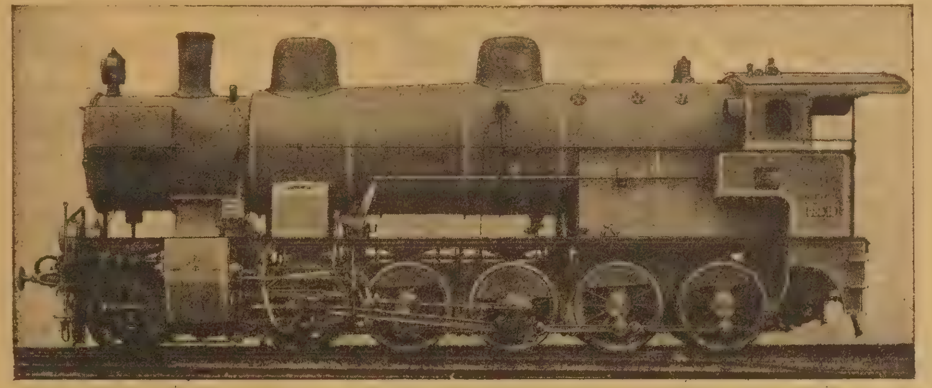


Abb. 1. 1 E-Großgüterzuglokomotive.

Doch auch diese Erhöhung der Belastung der Güterzüge war nicht hinreichend, um eine dauernde Entlastung des Fahrplanbildes zu bringen, so daß an die Verwendung einer noch stärkeren Lokomotivbauart gedacht werden mußte. Die österr. Staatsbahnen hatten damals folgende etwa in Betracht kommende Lokomotiv-Bauarten: die fünffach gekuppelten, mit verschiebbaren Gölsdorf-Helmholtz-Achsen versehenen E-Naßdampf- und -Heißdampf-Zweizylinder-Verbundlokomotiven der Reihen 180 und 80 und die 1 E-Heißdampf-Vierzylinder-Verbundlokomotiven Reihe 380. Erstere war infolge ihres gegenüber der 1 D-Lokomotive, Reihe 170, kleineren Kessels und ihrer um 10 km/h geringeren größten Geschwindigkeit für Gütereilzüge nicht geeignet, die letztere war mit ihren Rädern von 1450 mm Dmr. und Vierzylinder-Triebwerk eine ausgezeichnete Gebirgs-Schnellzuglokomotive für die Arlberg- und Tauernbahn und schien für den gedachten Güterzugdienst als Vierzylinder-Lokomotive zu vielteilig und in der Beschaffung zu teuer.

Es wurde daher Mitte 1916 eine einfachere 1 E-Lokomotive vom Verfasser im Eisenbahnministerium, Depart. 23, entworfen, die mit gleichem Kessel wie Reihe 380, jedoch wie bei Reihe 170, 80 und 180 mit Rädern von nur 1300 mm Dmr. als Heißdampf-Zwillingslokomotive ausgebildet wurde. Die sich aus dieser Vereinfachung ergebende Gewichtersparnis wurde benutzt, um einen Abdampfvorwärmer einzubauen. Vorerst wurde eine Lokomotive zur Probe bei der Lokomotivfabrik in Wiener Neustadt, vorm. G. Sigl, bestellt, die auch die Einzelkonstruktionen durchführte. Eine Beschreibung der Lokomotive ist in Z. Bd. 65 (1921), Nr. 38, S. 984 enthalten. Diese Lokomotive, Nr. 81.01. wurde im Mai 1920, also nach dem Umsturz, geliefert und nach eingehender Erprobung und Indizierung auf den Strecken Wien-Sigmundsherberg (10 vT) und Spittal a. d. Drau-Mallnitz (Tauernbahn mit 28 vT) zur Dienstleistung der Direktion Villach zugewiesen. Die Ergebnisse aus diesen von dem leider nur allzu früh dahingegangenen Ministerialrat Dr.-Ing. Sanzin geleiteten Probefahrten sind in der Zahlentafel 1 zusammengestellt. Die größte indizierte Leistung betrug 1597 PSi.

Nach einer fast zweijährigen Erprobung wurden Lokomotiven dieser Bauart nachbestellt, als infolge der durch den Umsturz vollkommen geänderten Verkehrsverhältnisse die Westbahnstrecke Wien-Linz-Salzburg und -Passau die Hauptverkehrsader des kleinen Österreich wurde und aus ähnlichen Gründen wie seinerzeit auf der Nordbahn eine Erhöhung der Belastung der Güterzüge, insbesondere auf der Strecke Wien-Amstetten, mit 10 vT Steigung über den Rekawinkler Berg bei Wien notwendig wurde. Im ganzen sind bis jetzt 99 Stück bestellt worden, und zwar sind 54 Stück, Nr. 81.02 bis 81.55, mit Kolbenschiebern und schmalen Ringen, 18 Stück, Nr. 81.400 bis 81.415 und 81.450 (Abb. 1) und 81.451, mit Lentz-Ventilsteuerung in zwei Abarten, schließlich 27 Stück als Heißdampf-Zweizylinder-Verbundlokomotiven mit der Reihenbezeichnung 181, Nr. 181.01 bis 181.27, ausgeführt und bis Ende 1923 geliefert worden. Wie in dem Aufsatz: „Wie kann man bei der Dampflokomotive Kohle sparen" (s. Z. 1921 S. 983), mitgeteilt wurde, haben die österr. Bundesbahnen eine Reihe von kohlensparenden Einrichtungen erprobt, die nunmehr zum weiteren ausgedehnteren Versuch bei dieser Lokomotivbauart zur Ausführung kamen.

Über die

Ergebnisse der Vorversuche,

die entscheidend für die weitere Ausführung der verschiedenen Einrichtungen waren, soll hier kurz berichtet werden. Es sind dies Versuche mit der Lentz-Ventilsteuerung, dem Schmidtschen Kleinrohr-Überhitzer, der Einspritz-Kesselspeisewasservorwärmung nach Bauart „Dabeg" und schließlich mit dem Abgas-Speisewasservorwärmer nach meinen Angaben. Die ersten drei Einrichtungen wurden an Lokomotiven gleicher Bauart der Reihe 80.900, einer E-Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive, und zwar auf einer und derselben bis zu 10 vT Steigung aufweisenden Strecke Wien-Nußdorf-Sigmundsherberg und unter möglichst gleichen Bedingungen und Voraussetzungen erprobt, so daß ein einwandfreier Vergleich der Versuchsergebnisse möglich ist. Als Vergleichslokomotive diente Nr. 80.3924 der Regelausführung mit Schmidtschem Großrohr-Überhitzer und Kolbenschiebern mit breiten Schmidtschen Schieberingen.

In Zahlentafel 2 sind angegeben die Hauptabmessungen der Vergleichslokomotive und der Versuchslokomotiven sowie die Einrichtungen, die zu erproben waren. Die Ergebnisse der Versuche, die hauptsächlich in dem Nachweis des Kohlenminderverbrauches gipfeln, sind aus dem Schaubild, Abb. 2, zu ersehen. Eine weitere Erklärung kann somit entfallen.

Die Versuche mit dem Abgas-Speisewasservorwärmer wurden an der 1 D-Heißdampf-Zwillingslokomotive, Reihe 270 Nr. 270.103, auf derselben oben angegebenen Strecke, und zwar mit und ohne Abgasvorwärmer vorgenommen. Zahlentafel 3 und das Schaubild, Abb. 3, geben Aufschluß über das Ergebnis der Untersuchungen.

Neuere Ausführungen der 1 E-Lokomotive, Reihe 81.

Gegenüber der ersten Ausführung der Lokomotiven, Reihe 81 (a. a. O.), hat sich deren Aussehen etwas verändert, und zwar durch die nach vorn verlängerte Rauchkammer zur Aufnahme des Abgas-Vorwärmers, Ersatz des mächtigen Kobel-Rauchfanges durch einen glatten Prüßmann-Rauchfang und durch die Erhöhung der Dampfdome auf das Maß 4600 mm über S.-O., Abb. 1, 4 bis 6 und 7. Auch erhielten diese Lokomotiven den Ventilregler, Bauart Zara, an Stelle des Flachschieberreglers, und in der Rauchkammer wurde anstatt des ebenen Funkensiebes der Lokomotive Nr. 81.01 anfangs ein Korbfunkenfänger, später ein Teller-Funkenfänger nach Bauart Langer, Abb. 8 und 9, angeordnet. Sechs Lokomotiven mit Abgas-Speisewasservorwärmer, von dem noch später die Rede sein wird, haben keinen besonderen Funkenfänger, da sich der Abgasvorwärmer als ein sehr wirksamer Funkenfänger bewährt.

Auch die Einströmrohre erfuhren eine Abänderung, da sich zeigte, daß die zwischen den Dampfzylindern und dem Sattelstück eingeschalteten kurzen Einströmstutzen mit Rechts- und Linksgewinde, nach Muster jener bei zahlreichen Gölsdorfschen Lokomotiven angewendeten, bei dieser Lokomotivbauart nicht dauernd

Zahlentafel 1. Probefahrt mit Lokomotive Nr. 81.01

Fahrt-Nr.	Zug-Nr. Tag der Fahrt	Zuglast in t Wagenzahl Achsenzahl	Fahrzeit	Regler, offen	Mittlere Fahrgeschwindigkeit	Zahl d. Zwischenaufenthalte	Wasserverbrauch für die ganze Fahrt abzüglich Schlabberverluste	Kohlenverbrauch für die ganze Fahrt	Heizwert der Kohle	Wirkliche Verdampfungsziffer	Wasserverbrauch in der Reglerstunde	Kohlenverbrauch in der Reglerstunde	Rostbeanspruchung	Mittlerer Kesseldruck	Mittlere und größte Überhitzung	Mittlere und größte Rauchkammer-Luftverdünnung	Mittlerer und größter Blasrohrdruck	Mittlere und größte Speisewassertemperatur	Höchste Rauchkammertemperatur	Rückstände in vH der verfeuerten Kohle: Rauchkammer	Rückstände in vH der verfeuerten Kohle: Aschenkasten
			h	h	km/h		kg	kg	kcal/kg		kg	kg	kg/m²	at	°C	mm W.-S.	at	°C	°C		
a) auf der Strecke Pusarnitz-Mallnitz (27 km; maßgebende Steigung 27,8 vT).																					
1	780 13.10.1920	303 17/34	1,301	1,235	20,7	4	13.110	2150	6500	6,10	10,630	1740	390	14,7	265/295	135/190	0,7/1,0	75/90	320	6,4	13,7
2[1])	780 14.10.1920	308 22/44	1,238	1,160	21,8	4	11,360	2300	6500	4,94	9780	1980	445	14,9	275/300	163/210	0,8/1,1	—	302	6,0	12,3
3	702 15.10.1920	200 12/24	0,865	0,845	31,2	1	7,500	1600	5750	4,68	8880	1890	406	14,6	280/295	142/170	0,7/1,0	80/90	302	8,7	16,9
4	780 19.10.1920	302 29/58	1,345	1,300	20,1	5	12,234	2000	6500	6,117	9420	1540	345	14,6	270/300	145/180	0,6/1,0	75/88	305	5,9	8,8
5	702 20.10.1920	198 13/26	0,803	0,771	33,6	1	8.070	1350	6500	5,98	10,450	1750	393	14,6	285/300	155/170	0,8/1,0	75/80	313	7,0	14,4
b) auf der Strecke Nußdorf-Sigmundsherberg (84,6 km; größte Steigung 10 vT)																					
6[1])	69 24.8.1920	799 56/112	3,300	3,067	25,6	6	20,002	3800	6050	5,26	6520	1240	261	14,7	295/315	83/140	—	—	—	—	—
7[1])	263 23.9.1920	999 56/112	3,255	3,065	26,0	3	21,943	3700	6050	5,93	7560	1210	251	14,9	290/325	105/180	—	—	—	—	—
8	263 25.9.1920	1015 59/120	3,520	3,339	24,0	3	24,057	3160	6050	7.62	7250	946	195	14,8	280/300	96/170	—	85/100	—	—	—
9	263 28.9.1920	683 49/98	2,941	2,743	28.7	3	19,850	2650	6050	7,49	7280	965	201	14.8	280/300	98/180	—	80/95	312	—	—
10	263 30.9.1920	708 62/132	3,328	3.097	25,4	5	20,250	4600	4450	4,41	6540	1440	315	14,6	275/300	59/90	—	82/92	298	—	—

dicht zu halten waren, so daß schließlich Einströmrohre mit Umgehung des Sattelstückes zur Ausführung kamen. Ferner erhielten alle Lokomotiven auf der linken Seite, bis auf eine, Nr. 81.23, die mit einem Abdampfinjektor, Bauart Davies und Metcalfe, ausgerüstet ist, einen neuartigen Doppelinjektor, Bauart Friedmann, Abb. 10, mit Düsen von 6 und 8 mm, um ein ununterbrochenes und der Leistung der Lokomotive annähernd angepaßtes Speisen zu ermöglichen. Der Injektor liefert mit der 6 mm-Düse 85 l, mit der 8 mm-Düse 145 l, mit beiden zusammen 230 l/min. Die Dampfzufuhr zum Injektor wird durch einen Schieber, Bauart Neubauer, geregelt.

Hinsichtlich der besonderen Einrichtungen einzelner Lokomotivgruppen wäre folgendes auszuführen:

Einspritzvorwärmer, Bauart „Dabeg".

Durch die bisher üblichen Oberflächen-Vorwärmer, die durch die Bauart Knorr gekennzeichnet sind, wird aus dem zum Vorwärmen des Speisewassers verwendeten Abdampf nur die Dampfwärme zurückgewonnen, während das warme Niederschlagwasser, enthaltend die Flüssigkeitswärme, ungenutzt auf die Strecke abfließt. Auch wiegen diese Vorwärmer rd. 1 bis 1,5 t. Der Vorwärmer Bauart Dabeg, Abb. 7, 11 und 12, beruht dagegen auf dem Einspritzverfahren, bei dem Abdampf und Speisewasser unmittelbar in Berührung kommen; hierbei werden die gesamte im Dampf vorhandene Wärme und auch das Niederschlagwasser zurückgewonnen. Bedingung ist hierfür, daß der Abdampf möglichst ölfrei dem Vorwärmer zugeführt wird. Der von der Firma Dabeg benutzte Ölabscheider *n*, Abb. 11, ist derart wirksam,

Zahlentafel 2. Vergleichsversuche mit kohlensparenden Lokomotiveinrichtungen; Angaben über die Versuchslokomotiven.

Bezeichn. der Bauart	Lokomotiv-Nr.	Zyl.-Dmr.	Kolbenhub	Rad-Dmr.	Dampfspannung	Rostfläche	Heizfläche: Feuerbüchse	Heizfläche: Rohre	Heizfläche: Überhitzer	Gesamtheizfläche	Versuchseinrichtung
		mm	mm	mm	at	m²	m²	m²	m²	m²	
1	80.3924	590	632	1300	14	3,42	12,0	138,2	26,8	177,0	keine
2	80.5900	„	„	„	„	„	„	„	„	„	Lentz-Ventilsteuerung mit kleinen Nocken
3	80.600	„	„	„	„	„	„	142,1	67.1	221,2	Schmidtscher Kleinrohr-Überhitzer
4	80.5903	„	„	„	„	„	„	„	„	„	Schmidtscher Kleinrohr-Überhitzer u. Lentz-Ventilsteuerung mit großen Nocken
5	80 3926	„	„	„	„	„	„	138,2	26,8	177,0	„Dabeg"-Vorwärmer (Dampfpumpe)
6	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„Dabeg"-Vorwärmer (Fahrpumpe)

daß im Kesselwasser weder durch chemische noch durch mechanische Untersuchung Öl nachgewiesen werden konnte. Der Vorwärmer besteht aus zwei vom Gestänge der Lokomotive angetriebenen einfach wirkenden Pumpen, einer Kalt- und einer Warmwasserpumpe, Abb. 12. Zwischen beiden ist der Einspritzvorwärmer *c* angeordnet. Die Pumpe, deren Leistung 2 l Wasser für einen Hub beträgt, wiegt mit dem Ölabscheider rd. 580 kg. Die ganze Anlage ist leichter als die der Bauart Knorr.

Die Pumpe ist so bemessen, daß sie für einen Hub so viel warmes Wasser dem Kessel zuführt, wie dieser Dampf für eine Radumdrehung bei größter Leistung der Lokomotive liefern muß, wodurch ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, der unabhängig von der Umdrehungszahl der Räder ist. Um das gleiche auch für kleinere Leistungen zu erreichen, ist folgende Einrichtung getroffen: Auf der Druckseite der Kaltwasserpumpe ist ein Drehschieber *l* mit Schlitzen eingebaut, an den sich eine Rückleitung *m*, Abb. 11 und 12, zum Tender anschließt. Dieser Drehschieber ist mit der Steuerwelle der Lokomotive (*o*, Abb. 11) so gekuppelt, daß bei der der größten Leistung der Lokomotive entsprechenden Füllung die gesamte Wassermenge in den Vorwärmer gedrückt wird, indem die Schlitze im Drehschieber gegen die Rückleitung abgesperrt sind. Für kleinere Füllungen gibt der Drehschieber durch mehr oder weniger geöffnete Schlitze dem Wasser auch einen Weg in die Rückleitung *m*, so daß nur ein Teil des angesaugten kalten Wassers in den Vorwärmer gedrückt wird, der andre Teil dagegen zurückfließt.

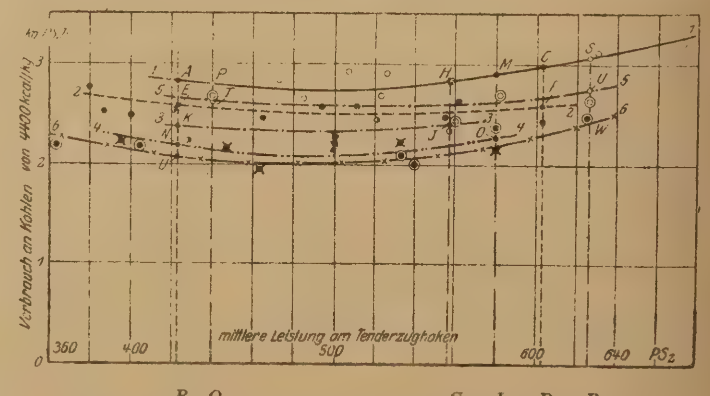


Abb. 2. Vergleichsversuchsfahrten der mit kohlensparenden Einrichtungen versehenen Lokomotiven (Zahlentafel 2) der Reihe 80 auf der Strecke Nußdorf—Sigmundsherberg (84,6 km).

Kohlenersparnis:

Lokomotive, Bauart 2 gegen Bauart 1	nach Fläche	ABDC	und	EBDF	9,0 vH
„ „ 3 „ „ 1	„ „	ABGH	„	KBGJ	15,1 „
„ „ 4 „ „ 1	„ „	ABLM	„	NBLO	22,9 „
„ „ 5 „ „ 1	„ „	PQRS	„	TQRU	7,7 „
„ „ 6 „ „ 1	„ „	ABRS	„	VBRW	25,2 „

Vorherrschende Füllung	Mittlere indizierte Leistung N_i	Größte indizierte Leistung $N_{i\,max}$	Mittlere Nutzleistung N_e	Mechanischer Wirkungsgrad	Widerstand des Wagenzuges und Abzug des Steigungswiderstandes aus Zugkraft am Haken	Widerstand von Lokomotive u. Tender aus Unterschied zwischen N_i u. N_e	Wasserverbrauch²)	Kohlenverbrauch²)	Kohlenverbrauch, umgerechnet auf Kohle von 7000 kcal
vH	PS_i	PS_i	PS_e	N_e/N_i	kg/t	kg/t	kg/PS_ih	kg/PS_ih	kg/PS_ih
45	992	1440	658	0,663	3,85	12,3	10,70	1,753	1,628
45 bis 50	1084	1432	706	0,651	3,75	19,1	9,00	1,825	1,697
35 „ 40	1165	1517	649	0,556	4,60	14,6	7,62	1,620	1,330
45 „ 50	985	1420	638	0,649	4,65	15,8	9,62	1,563	1,452
40	1280	1597	699	0,546	3,99	15,5	8,17	1,365	1,268
20 bis 40	725	1155	—	—	—	—	8,99	1,710	1,475
25 „ 45	682	1159	—	—	—	—	10,50	1,774	1,531
25 „ 45	719	1458	—	—	—	—	10,08	1,315	1,135
25 „ 50	688	1253	—	—	—	—	10,58	1,403	1,211
25 „ 35	602	945	—	—	—	—	15,86	2,392	1,518

¹) Vorwärmer außer Tätigkeit; Beschreibung des Vorwärmers siehe Z. Bd. 65 (1921) Nr. 38.
²) Ohne Abzug für Bremse usw.

Die Querschnitte in den Schlitzen des Drehschiebers sind nun so bemessen, daß die in den Kessel gelangende Wassermenge wieder annähernd gleich ist der vom Kessel an die Dampfmaschine gelieferten Dampfmenge. Für ganz ausgelegte Steuerung und für die Mittelstellung gibt der Drehschieber vollen Querschnitt in die Rückleitung frei, so daß das ganze angesaugte Wasser wieder zurückfließt und der Kessel kein Wasser erhält. Bei Lauf der Lokomotive ohne Dampf, wobei zumeist die Steuerung ganz ausgelegt wird, gelangt somit kein kaltes Wasser in den Kessel. Die beschriebene Einrichtung ermöglicht ein selbsttätiges Regeln der Wasserzufuhr in den Kessel nach dessen Dampfabgabe; die Lokomotivmannschaft wird hierdurch wesentlich entlastet.

Im Einspritzvorwärmer wird das Speisewasser entlüftet und auch zum Teil enthärtet. Der lockere Schlamm gelangt zwar in den Kessel, kann aber leicht beim Auswaschen entfernt werden. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, die Kessel vor und nach jedem Dienstabschnitt abzuschlammen, um den lockeren Schlamm zu entfernen und zu verhüten, daß das Kesselwasser sich an Kesselsteinbildnern anreichert. Für diesen Zweck wurden alle Lokomotiven der Reihen 81 und 181 mit fünf Abschlammschiebern nach der Ausführung von Friedmann ausgerüstet, von denen je zwei am Kesselbauch und am Stehkessel angebracht sind; der fünfte sitzt links unterhalb des vorderen Domes, der als einfacher Kesselsteinabscheider arbeitet, und dient zu dessen Entleerung.

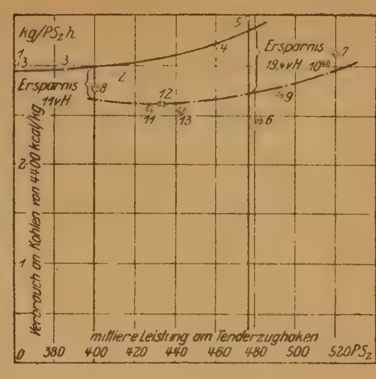


Abb. 3. Versuchsfahrten mit Lok 270.103 mit und ohne Rauchkammervorwärmer Bauart Rihosek auf der Strecke Nußdorf-Sigmundsherberg (84,6 km).
Kohlenverbrauch abzüglich des Verbrauches für Bremse und Dampfhalten
◎ Punkte f. d. Fahrten mit Vorwärmer
⊙ „ „ „ „ ohne „
Minderverbrauch an Kohle bei den Fahrten mit Vorwärmer gegenüber den Fahrten ohne Vorwärmer gerechnet für das Leistungsgebiet von A-B: 14 vH.

Bei den ersten Versuchen mit dem Dabeg-Vorwärmer waren die Kalt- und die Warmwasserpumpe von einer Dampfpumpe angetrieben. Der Vergleich der Kurven 5 und 6 in Abb. 2 spricht sehr zugunsten der Fahrpumpe.

Mit der Dabeg-Pumpe wurden bei Neubau ausgerüstet 12 Lokomotiven, und zwar Nr. 81.51 und 81.52 sowie 81.406 bis 81.415. Mit Rücksicht auf die sehr günstigen Erfahrungen mit diesem Vorwärmer hat sich die neue Generaldirektion der österr. Bundesbahnen entschlossen, 750 Lokomotiven mit dieser Fahrpumpe auszurüsten, um durch diese Maßnahme den Kohlenverbrauch der österr. Bundesbahnen herabzudrücken.

Abgasvorwärmer¹).

Auf Grund der mit der Lokomotive Nr. 270.103 gemachten günstigen Erfahrungen wurden 6 Lokomotiven der Reihe 81 mit Abgasvorwärmern ausgerüstet und bei allen andern die Rauchkammer für einen etwaigen späteren Einbau vorgerichtet. Behufs Sammlung weiterer Erfahrungen wurde der Vorwärmer in drei verschiedenen Abarten ausgeführt. Zwei Lokomotiven, Nr. 81.22 und 81.24, erhielten den Vorwärmer nach Abb. 13 und 14 mit 6 Rohrbündeln. Das vom Injektor gelieferte Wasser tritt zuerst links in die oberste Kammer vorn ein, strömt durch das Rohrbündel nach rechts, fließt von hier durch das untere Rohrbündel nach links, steigt hier nach oben in die mittlere Kammer auf, fließt hierauf wieder nach rechts oben usw. und tritt hinten aus der linken unteren Kammer, vorgewärmt, aus dem Vorwärmer, von wo es dem vorderen Dom zuströmt.

Gegenüber dem in Z. 1921 Nr. 38 beschriebenen ersten Abgasvorwärmer haben diese neuen Vorwärmer folgende Ergän-

¹) Nähere Beschreibung s. Z. Bd. 65 (1921) Nr. 38.

Zahlentafel 3. Versuchsfahrten mit Lokomotive 270.103 mit und ohne Rauchkammervorwärmer, Bauart Rihosek, auf der Strecke Nußdorf-Sigmundsherberg (84,6 km).

Fahrt Nr.	Tag der Fahrt	Zugbelastung	Achsenzahl	Versuchdauer	Zeit, während deren der Regler geöffnet war	Zeit für Dampfhalten	Gesamtarbeit am Tenderzughaken	Mittlere Leistung am Tenderzughaken	Gesamtkohlenverbrauch	Heizwert der Kohle kcal/kg	Kohlen für das Dampfhalten	Kohlen für die Bremse während der Fahrt	Kohlen für die Lok.-Dampfmaschine	Kohlen für d. Lok.-Dampfm., bezogen auf Normalkohlen von 4400 kcal/kg	Gesamtwasserverbrauch — 3 vH für Schlabbern	Wasser für das Dampfhalten	Wasser für die Bremse während der Fahrt	Wasser für die Lok.-Dampfmaschine	Normalkohlen kg/PS_zh	Wasser für $1\,PS_zh$
		t		h	h	h	PS_zh	PS_z	kg		kg	kg	kg	kg	l	l	l	l		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
									Fahrten ohne Vorwärmer.											
1	17. 5. 21	500/512	110/114	4,417	3,066	1,351	1045	341	2640	5979	209	98,2	2332	3170	16 490	1305	613	14 571	3,02	13,9
2	19. 5. 21	595	114	4,266	3,166	1,10	1232	390	2900	5979	170	107	2622	3565	17 217	1015	633	15 569	2,9	12,6
3	20. 5. 21	599	124	4,862	3,308	1,554	1205	365	2970	5979	239	103,2	2626	3567	19 012	1487	661	16 863	2,96	14,0
4	3. 6. 21	592/585/627	76 74/78	3,97	2,79	1,18	1230	441	3880	4860	183	132,8	3564	4025	16 344	770	558	15 016	3,2	12,2
5	9. 6. 21	603	98	3,516	2,81	0,706	1280	456	4420	4721	109	157	4153	4460	15 811	392	562	14 857	3,49	11,6
									Fahrten mit Vorwärmer.											
1	4. 11. 21	571	84	3,194	2,78	0,414	128,5	462	2038	7262	64	75,7	1898	3140	14 700	464	556	13 679	2,44	10,63
2*)	17. 11. 21	601	116	3,42	2,72	0,70	1358	500	2702	7262	108	26,94	2567	4250	17 300	757	149	16 393	3,12	12,1
3	22. 11. 21	612	84	3,689	3,175	0,514	1207	380	2134	7262	79	24.19	2031	3360	15 460	593	174	14 692	2.78	12,2
4	26. 11. 21	616	96	4,050	3,16	0,890	1493	472	2602	7262	137	23,275	2441	4050	19 400	1065	173	18 161	2,70	12.15
5	1. 12. 21	612/588/572	90/88/86	3,824	2,733	1,091	1351	495	2670	7262	168	22,78	2478	4090	17 100	1276	150	15 673	3,03	11,6
6	10. 12. 21	602	88	4,049	3,420	0,629	1398	409	2284	7262	97	28,18	2158	3560	16 750	760	209	15 780	2,55	11,3
7	15. 12. 21	595/569	70/66	3,781	3,240	0,541	1337	413	2220	7262	73	25,71	2120	3500	15 300	554	178	14 568	2,62	10,9
8	20. 12. 21	700	84	2,834	3,260	0,574	1379	423	2252	7262	88	28,23	2135	3530	16 700	690	211	15 798	2,56	11,45

*) Fahrt ohne Feuergewölbe, mit ununterbrochener und teilweise ununterbrochener Speisung

Abb. 4 bis 6. Lokomotive Nr. 81.02 bis 81.55 mit Kolbenschiebern.

Kessel:		
	Heizfläche der Feuerbüchse, wasserberührt	15,50 m²
	Heizfläche der Siede- und Rauchrohre, wasserberührt	193,20 m²
	Heizfläche, insgesamt, wasserberührt	208,70 m²
	Heizfläche des Überhitzers, dampfberührt	39,60 m²
	Rostfläche	4,46 m²
	Anzahl der Siederohre	194 Stück
	„ „ Rauchrohre	24 „
	Länge der Siederohre und der Rauchrohre	4700 mm
	Äußerer Durchmesser der Siederohre	51 mm
	Äußerer Durchmesser der Rauchrohre	133 mm
	Effektive Dampfspannung	15 at

Triebwerk:		
	Zyl.-Dmr.	590 mm
	Kolbenhub	632 mm
	Dmr. der gekuppelten Räder	1300 mm
	„ „ Laufräder	1034 mm

Triebwerk:		
	Radstand, fester	4500 mm
	„ gesamter	8500 mm
	Dienstgewicht der Lokomotive	80 t
	Reibungsgewicht	70 t

zungen erhalten, Abb. 15 und 16. Die Klappen *a* unter dem Vorwärmer schließen den Vorwärmer unten ab, wenn beim Anheizen der Lokomotive durch die offenen Klappen *b* und *c* die Rauchgase nach dem Rauchfang strömen; sie haben somit zum Vorwärmer keinen Zutritt. Während des Betriebes sind die Klappen *b* und *c* geschlossen, dagegen die Klappen *a* offen, so daß nunmehr die Abgase durch den Vorwärmer streichen müssen. Um sicherzustellen, daß der Vorwärmer immer mit Wasser gefüllt ist, ist eine Rohrleitung mit einem Absperrorgan *d* am Kessel vorgesehen, die den Vorwärmer mit dem Kessel zwangläufig in Verbindung bringt, wenn die Klappen *a* geschlossen sind. Die Verbindung ist unterbrochen, wenn im Betriebe die Klappen *a* offen sind und der Vorwärmer von dem Injektor mit Wasser versorgt wird. Das Absperrorgan (Hahn, Schieber) am Kessel ist mit dem Zug zu den

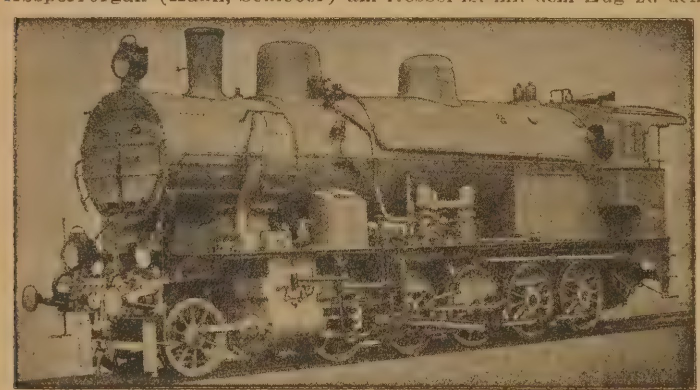


Abb. 7. 1 E-Lokomotive Nr. 81.412 bis 81.415 mit Schmidtschem Kleinrohr-Überhitzer, Dabeg-Vorwärmer und Lentz-Ventilsteuerung.

Klappen gekuppelt, so daß es zwangläufig zugleich mit den Klappen betätigt wird.

Da sich an den Rohren des Vorwärmers Ruß ansetzt, wurde zur Entfernung des Rußes eine Abblasevorrichtung *e* angeordnet, die aus zwischen den Rohrbündeln eingelegten Rohren mit Löchern besteht; durch diese kann vom Führerhaus aus über ein Ventil Dampf geblasen werden, der die Wasserrohre von dem anhaftenden Ruß reinigt.

Um auch zu erproben, welchen Einfluß die Erhöhung der Wassergeschwindigkeit in den Vorwärmerrohren auf den Grad der Vorwärmung ausübt, und um den Rohren des Vorwärmers ein freieres Ausdehnen zu ermöglichen, als dies bei der besprochenen Ausführung mit zwei Stahlgußtaschen und in diese eingewalzten Rohren der Fall ist, wurde bei den Lokomotiven Nr. 81.17, 81.20 und 81.450 folgendes angeordnet: Für die Wasserdurchströmung wurden n u r 8 Rohre vom gleichen lichten Durchmesser wie früher (17 mm) vorgesehen und die rechte Tasche des Vorwärmers in 12 Flansche aufgelöst, in die je 16 Rohre eingewalzt sind. Jeder Flansch ist mit einer gußeisernen Kappe abgedeckt, in der sich die Bewegungsrichtung des Wassers umkehrt. Dadurch wird erreicht, daß je 16 zu einem Element vereinigte Rohre sich unabhängig von den benachbarten beliebig ausdehnen können. Das Wasser strömt bei dieser Anordnung vorerst von vorne nach hinten in den oberen Rohrbündeln hin und her, kehrt in den mittleren Rohrbündeln von hinten nach vorne zurück und fließt schließlich durch die unteren Rohrbündel wieder nach hinten, von wo es in das Druckrohr zum vorderen Dom gelangt.

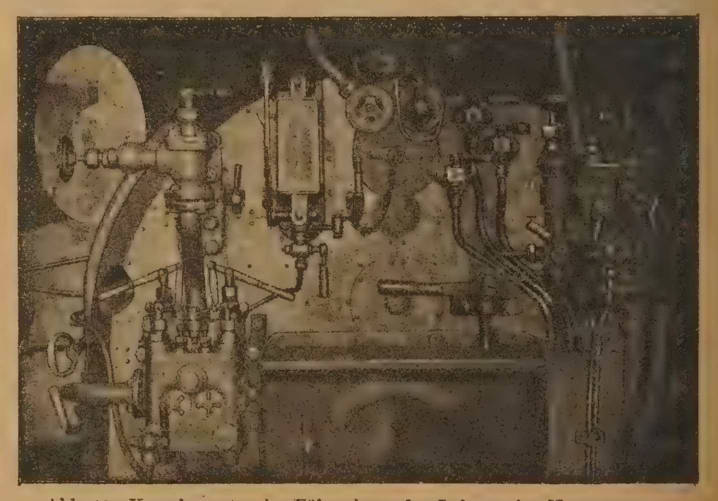


Abb. 10. Kesselarmatur im Führerhaus der Lokomotive Nr. 270.103. Links Doppelinjektor, darüber Dampfanlaßschieber mit Dampfventil für den Rußabblaser.

Nachträglich wurde in Erfahrung gebracht, daß diese Anordnung mit der Bauart Werle, von der ich keine Kenntnis hatte, annähernd übereinstimmt. Die Heizfläche dieser Vorwärmerbauart hat sich von 30,85 m² der ersten Bauart auf 19,23 m² verringert. Leider konnten bisher keine eingehenden Versuche durchgeführt werden, welche von den beiden Abarten hinsichtlich des Grades der Vorwärmung die wirksamere ist.

Schließlich wurde der sechste in Lokomotive Nr. 81.31 eingebaute Vorwärmer, der sonst mit jenem der Lokomotive Nr. 81.22 und 81.24 übereinstimmt, derart abgeändert, daß die Abgase ihn zweimal durchstreichen, ihr Weg daher verlängert und ihre Geschwindigkeit vergrößert wird, Abb. 17 bis 20. Ferner wurde der obere Füllbehälter *f*, Abb. 15 und 16, weggelassen und an dessen Stelle der vordere Dom mit dem Vorwärmer unmittelbar verbunden. Der Speiskopf sitzt innerhalb des Domes auf einem kurzen Standrohr, der außen am Dom sitzende Stutzen, an den sich das Druckrohr anschließt, stimmt im Modell mit dem Speiskopf überein, hat jedoch kein Rückschlag-, wohl aber ein Ab-

sperrventil. Da bei diesem Vorwärmer der Wasserweg mit jenem nach Abb. 13 und 14 übereinstimmt, paßt dieser nicht ganz zu dem Weg, den die Gase nehmen. Das konnte wegen der vorhandenen Gußtaschen nicht geändert werden.

Das Schaubild Abb. 21 zeigt das Ergebnis einer mit der genannten Lokomotive unternommenen Probefahrt. Hierbei wurde der Eindruck gewonnen, daß die Wärmeausnützung aus den Abgasen besser geworden ist.

Es ist beabsichtigt, bei dieser Lokomotive die Führung der Abgase noch so abzuändern, daß sie dreimal den Vorwärmer durchstreichen. Dadurch dürfte eine noch bessere Wärmeausnützung aus den Abgasen erreicht werden. Dann wird der Zeitpunkt gegeben sein, den Abgasvorwärmer mit einem Abdampfvorwärmer zu kuppeln. Zu erwähnen wäre noch, daß beim Abgasvorwärmer das Speisewasser immer vorgewärmt wird, ob die Lokomotive mit oder ohne Dampf fährt, oder ob sie, angeheizt, steht. Zum Schlusse der Besprechung des Abgasvorwärmers ist noch mitzuteilen, daß zur Erprobung des geeignetesten Werkstoffes je zwei Vorwärmer mit Rohren aus Messing, Kupfer und Eisen ausgerüstet wurden. Bisher kann darüber noch kein Urteil abgegeben werden.

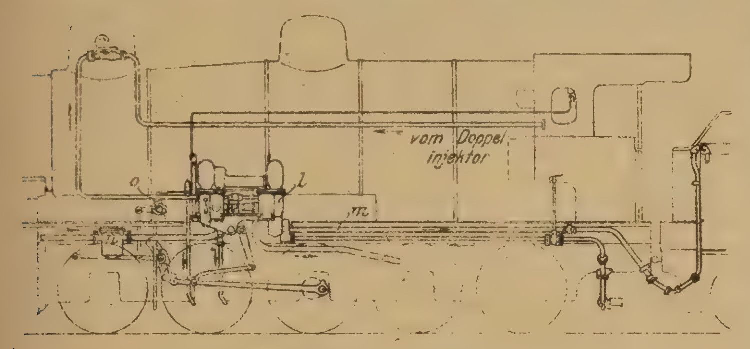


Abb. 11. Anordnung des Dabeg-Vorwärmers

Hilfsgebläsering

Abb. 8 und 9. Funkenfänger, Bauart Langer

Abdampfinjektor, Bauart Davies und Metcalfe.

Da die Anordnung dieses Injektors wohl bekannt ist[1]), kann auf eine nähere Beschreibung verzichtet werden. Ein abschließendes Urteil über die bei Lokomotive Nr. 81.23 gewonnenen Ergebnisse kann noch nicht gefällt werden. Jedenfalls ist dieser Injektor die einfachste und leichteste Abdampfvorwärmer-Anlage, jedoch dürfte sein wirtschaftlicher Erfolg geringer sein, als jener der beiden vorher beschriebenen Vorwärmer.

[1]) Locomotive Magazine 1898 Nr. 31.

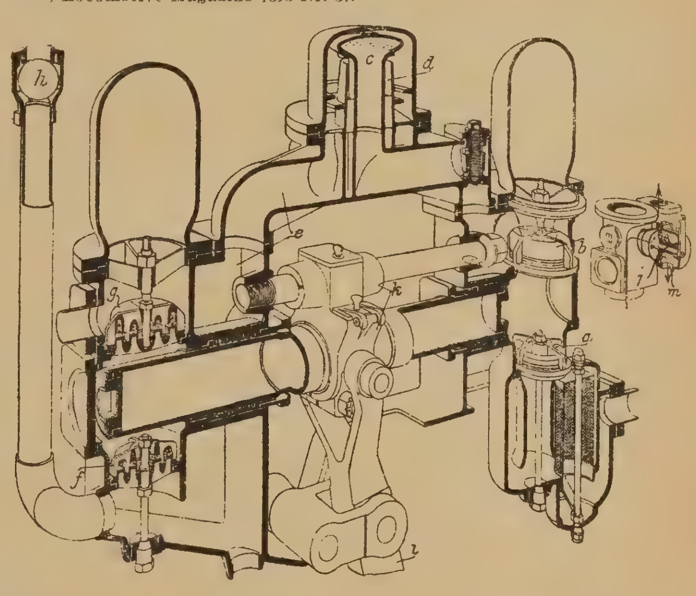


Abb. 12. Schnitt durch die selbsttätige Dabeg-Lokomotivfahrpumpe mit Abdampf-Einspritzvorwärmer, Type 8/120.

a Saugventil der Kaltwasserpumpe
b Druckventil der Kaltwasserpumpe
c Einspritzvorwärmer
d Dampfzuleitung zum Einspritzvorwärmer
e Warmwasserableitung
f Saugventil der Warmwasserpumpe
g Druckventil der Warmwasserpumpe
h Belüftungsventil
i Antriebhebel
k Kreuzkopf
l Regulier-Drehschieber
m Anschluß der Tenderrückleitung

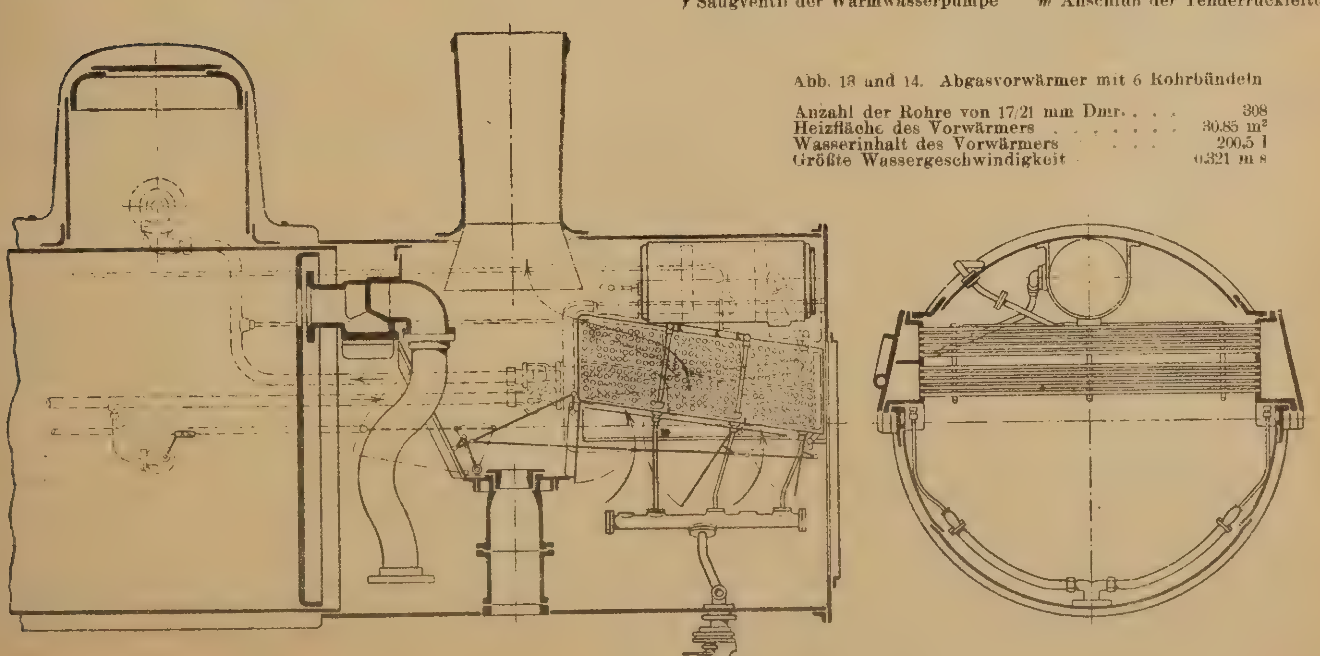
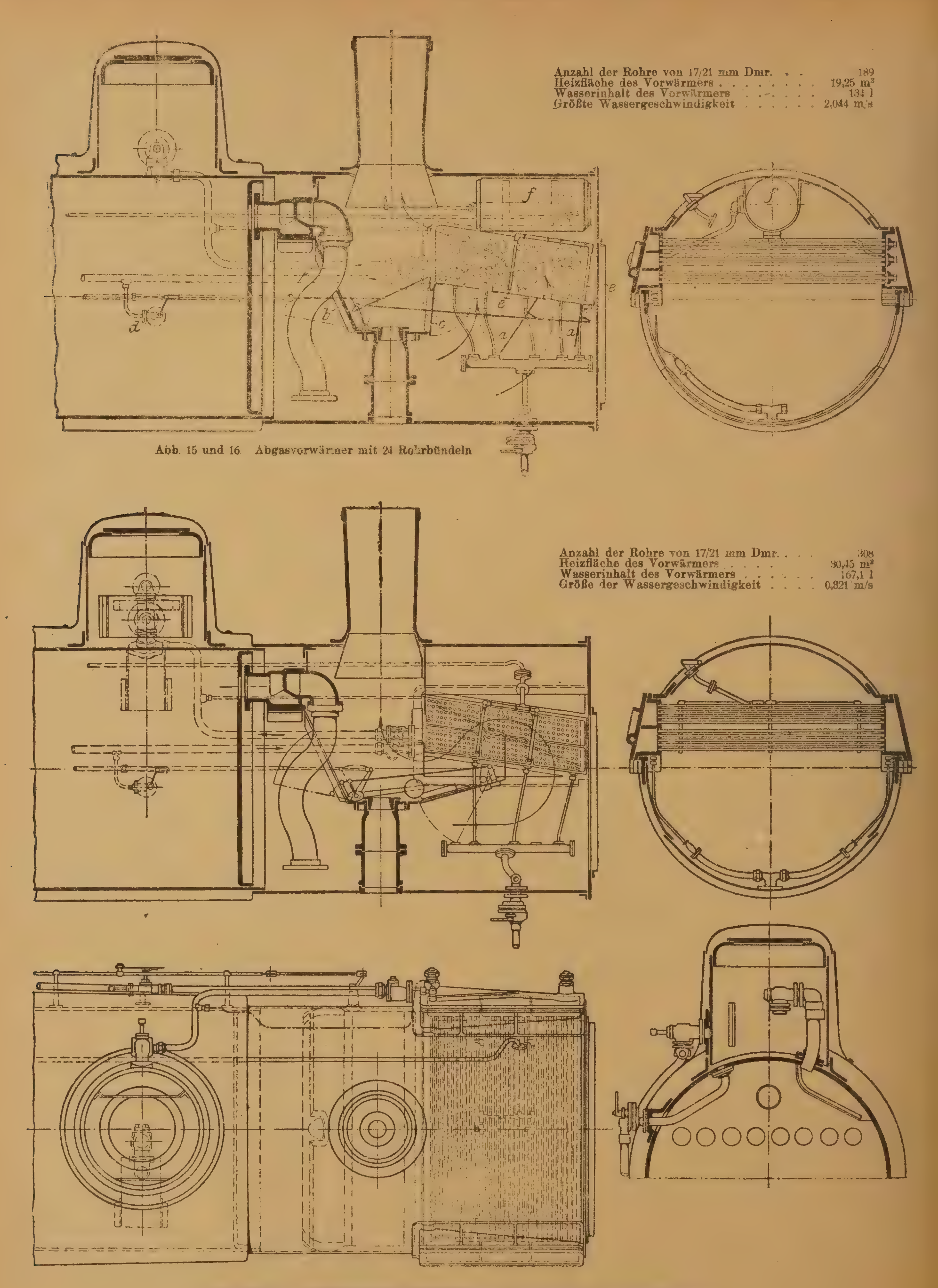


Abb. 13 und 14. Abgasvorwärmer mit 6 Rohrbündeln

Anzahl der Rohre von 17/21 mm Dmr.	308
Heizfläche des Vorwärmers	30,85 m²
Wasserinhalt des Vorwärmers	200,5 l
Größte Wassergeschwindigkeit	0,321 m/s



Anzahl der Rohre von 17/21 mm Dmr.	189
Heizfläche des Vorwärmers	19,25 m²
Wasserinhalt des Vorwärmers	134 l
Größte Wassergeschwindigkeit	2,044 m/s

Abb. 15 und 16. Abgasvorwärmer mit 24 Rohrbündeln

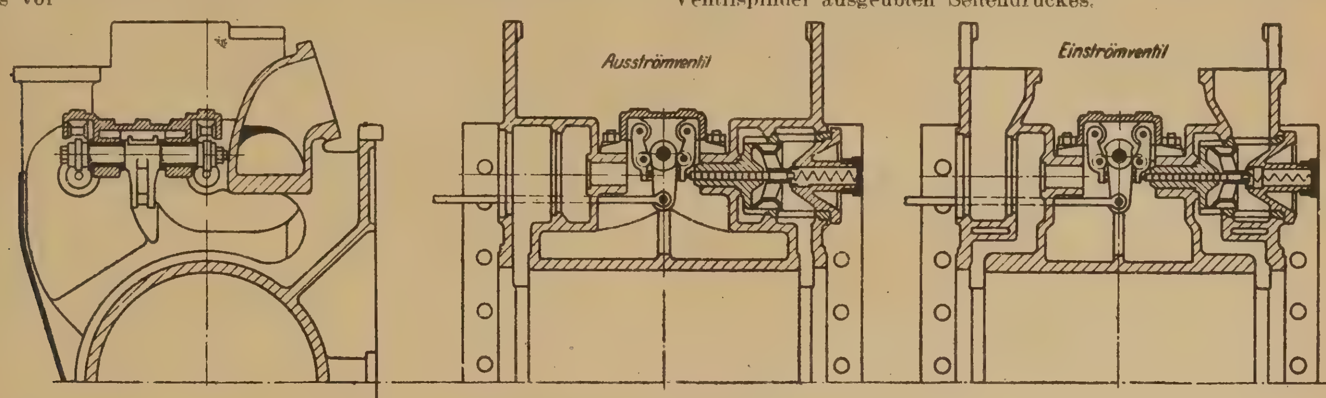
Anzahl der Rohre von 17/21 mm Dmr.	308
Heizfläche des Vorwärmers	30,45 m²
Wasserinhalt des Vorwärmers	167,1 l
Größe der Wassergeschwindigkeit	0,321 m/s

Abb. 17 bis 20. Vorwärmer mit 6 Rohrbündeln und zweimaliger Abgas-Durchströmung.

Schmidtsche Kleinrohr-Überhitzer.

Nach Schaubild Abb. 2, Kurve 4, war bei den Vergleichversuchen mit verschiedenen Lokomotiven der Reihe 80 jene mit Kleinrohr-Überhitzer und Lentz-Ventilsteuerung ausgerüstete Lokomotive Nr. 80.5903 gegenüber der Lokomotive Nr. 80.3924 der Regelbauart um 22,9 vH im Kohlenverbrauch wirtschaftlicher. Dies bewog die österr. Bundesbahnverwaltung, vier Lokomotiven der Reihe 81, Nr. 81.412 bis 81.415, die die Lentz-Ventilsteuerung erhielten, auch mit dem Kleinrohr-Überhitzer auszurüsten, s. Abb. 7. Da diese Lokomotiven auch mit dem Dabeg-Vorwärmer versehen sind, müßte ihre Wirtschaftlichkeit im Betriebe ganz besonders hoch sein. Mit Rücksicht auf die zu kurze Betriebszeit dieser Lokomotiven liegt hierüber noch kein bestimmtes Ergebnis vor.

ner, zwischen Nockenwelle und Ventilspindel einen Zwischenhebel eingeschaltet, Abb. 22 bis 25. Die Nocken steuern hier nicht unmittelbar die Ventile, sondern diesen Zwischenhebel, der in der Mitte die Rolle trägt und dessen bewegliches Ende zentrisch auf die Ventilspindel wirkt. Die Vorteile, die diese Ausführungsform bietet, sind: eine leichtere Ausgleichung von Zusammenbau-Ungenauigkeiten, Beseitigung von durch Abnutzung entstandenen Spielräumen, leichteres Abstellen der Steuerung, geringeres Gewicht der Ventile infolge Wegfalls der Rolle und Anwendungsmöglichkeit einer dünneren Ventilspindel, Wegfall der Führung des Ventiles für die Beibehaltung der senkrechten Rollenebene (das Ventil kann sich beliebig drehen) und schließlich Beseitigung des von der Nocke auf die Ventilspindel ausgeübten Seitendruckes.



Lentz-Ventilsteuerung.

Über den Wert der Lentz-Ventilsteuerung bei Lokomotiven sind die Meinungen sehr geteilt. Die Oldenburgischen Staatsbahnen benutzten bis in die letzte Zeit mit gutem Erfolge die Lentz-Ventilsteuerung mit stehender Anordnung[1]). Die Deutsche Reichsbahn spricht der Lentz-Ventilsteuerung jedoch keine Überlegenheit gegenüber der Kolbenschiebersteuerung mit schmalen Ringen zu[2]). Die österr. Bundesbahn-Verwaltung hat sich dagegen entschlossen, die Lentz-Ventilsteuerung mit wagerechter Anordnung bei einer größeren Zahl von Neubau-Lokomotiven vorzuschreiben

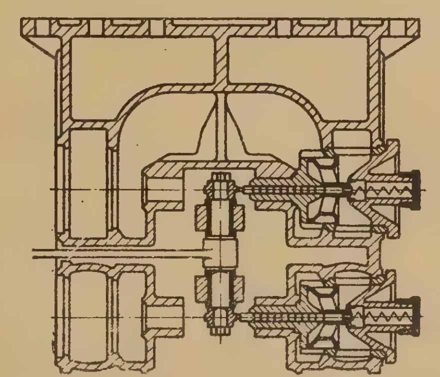


Abb. 22 bis 25
Abgeändertes Lentzventil, Steuerung mit Zwischenhebeln.

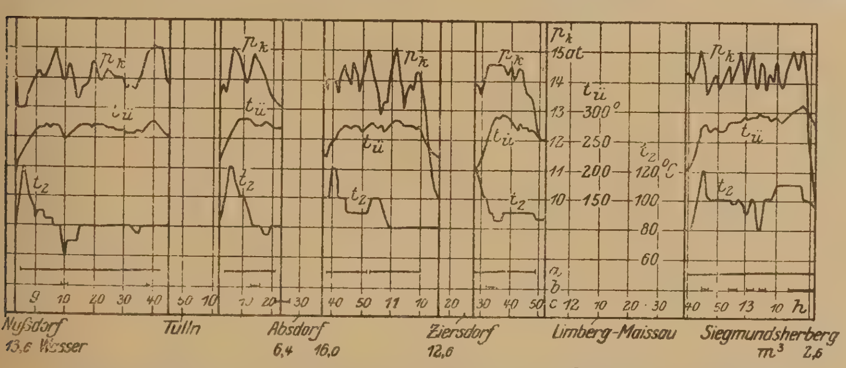


Abb. 21. Probefahrt mit Lokomotive 81.31 am 25. September 1923. 687 t Belastung bis Tulln, ab Tulln 678 t. Temperatur des vom Injektor gelieferten Wassers 56 °C. p_k = Kesseldruck, t_z = Temperatur des vorgewärmten Wassers, $t_{ü}$ = Temperatur des überhitzten Dampfes. a) Injektor 6, b) Injektor 8, c) Injektor 9

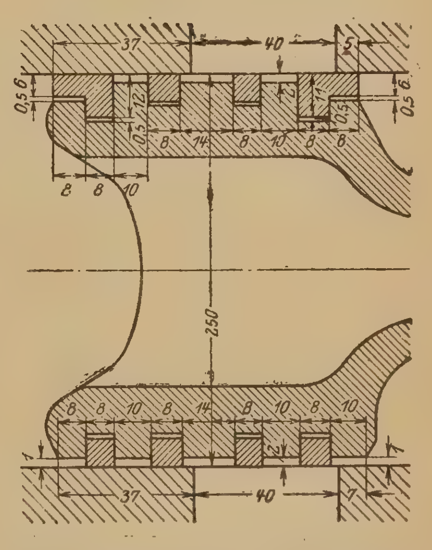


Abb. 26. Kolbenschieber mit schmalen Dichtungsringen und steuerndem Enddichtungsring von L-Querschnitt.

und auch 120 vorhandene Lokomotiven für Lentz-Ventilsteuerung umzubauen.

Dieser Entschluß wurde hauptsächlich auf die Urteile des Zugförderungs- und Werkstättendienstes hin gefaßt, weil diese Stellen in den geringeren Kosten der Instandhaltung und dem geringeren Ölverbrauch einen wesentlichen Vorteil der Ventilsteuerung sehen. Allerdings ist die Betriebsdauer der Versuchausführungen m. E. nicht genügend lang, um in jeder Richtung ein abschließendes Urteil abgeben zu können. Jedenfalls erfordert die Lentz-Ventilsteuerung in der ersten Herstellung eine ungemein genaue Arbeit und sehr harte Laufflächen, da kleine Spielräume oder kleine Abnutzungen die richtige Dampfverteilung stark beeinflussen. Auch das erste Einstellen der Ventile auf richtige Dampfverteilung ist schwierig und oft nur mit Hilfe des Indikators möglich.

Um in dieser Richtung die Lentz-Ventilsteuerung zu verbessern, habe ich mit meinem Mitarbeiter, Oberbaurat Ing. Leh-

[1]) s. Wittfeld, Z. Bd. 65 (1921) S. 623 und 1141
[2]) s. Glasers Annalen Bd. 13 (1923) S. 1.

Wie bereits anfangs berichtet wurde, haben von den gebauten Lokomotiven der Reihe 81 die Lokomotiven Nr. 81.400 bis 81.415 sowie Nr. 81.450 und 81.451 die Lentz-Ventilsteuerung erhalten. Die Lokomotiven Nr. 81.400 bis 81.415, gebaut von der Maschinenfabrik der österr. Staatseisenbahn-Gesellschaft in Wien, erhielten die Regelausführung der Lentz-Ventilsteuerung mit unmittelbarem Antrieb der Ventile durch die Nocken in der bekannten Anordnung.

Die beiden von der Wiener Lokomotivfabriks-A.-G. in Floridsdorf gelieferten Lokomotiven Nr. 81.450 und 81.451 bekamen eine abgeänderte Steuerung nach Abb. 22 bis 25 mit den vorhin beschriebenen Zwischenhebeln. Die Anordnung ist ferner dadurch sehr bemerkenswert, daß der Antriebhebel nicht am äußern Ende der Nockenwelle, sondern in der Mitte zwischen den Nocken angreift. Die Ein- und Ausströmventilkasten sind voneinander im Guß getrennt, so daß sie sich, hinsichtlich der Erwärmung voneinander unabhängig, besser ausdehnen können. Die Ventilsitze sind nicht wie bei der Regelausführung im Zylinder selbst angeordnet, sondern es ist ein besonderer Ventilkorb vorgesehen. Ferner sei noch hervorgehoben, daß der Raum, worin

die Nockenwelle und die Zwischenhebel liegen, von außen zugänglich ist. Das von den Schmierstellen in diesem Raum abtropfende Öl wird in einem Behälter aufgefangen und wieder verwendet.

Schmale Kolbenschieberringe.

Die österr. Bundesbahnen benutzten bisher für die Dichtung der Kolbenschieber die breiten Schmidtschen Schieberringe. Auf Grund der anderweitig mit schmalen Dichtungsringen gemachten günstigen Erfahrungen wurden die Lokomotiven Nr. 81.02 bis 81.55 mit schmalen Kolbenschieberringen ausgestattet, und zwar die Lokomotiven Nr. 81.02 bis 81.18 mit den Becherschen schmalen Ringen und steuernden Kanten im Kolbenschieberkörper; die Lokomotiven 81.19 bis 81.55 erhielten steuernde Enddichtungsringe der ⊥-Form nach Abb. 26. Nach den Erfahrungen ist es unvorteilhaft, die steuernden Kanten in den nicht dichtenden Kolbenschieberkörper zu verlegen, da hierdurch das Vorein- und das Vorausströmen verfrüht, die Füllung verlängert und die Verdichtung verkürzt wird.

Zwei Lokomotiven erhielten versuchsweise je einen Kolbenschieber mit Dichtungsringen nach Bauart Hauber. Auch wurden bei elf Lokomotiven die Stopfbüchsen ebenfalls nach Bauart Hauber ausgeführt. Es sei noch bemerkt, daß sämtliche Lokomotiven vorn an den Kolben- und Schieberstangen keine Stopfbüchsen haben, sondern es sind nur Büchsenführungen mit die Stangenenden umschließenden Hülsen angebracht.

Die Beschaffung der Lokomotiven Reihe 81 sollte, wie eingangs näher ausgeführt, dem Mangel an einer sehr leistungsfähigen Großgüterzuglokomotive abzuhelfen. Die Lokomotiven kamen auch zum größeren Teil in den für sie bestimmten Güterzugdienst. Ein Teil mußte aber infolge Mangels an Gebirgs-Schnellzuglokomotiven auf den Steilrampen des Arlberges, der Tauern und der Strecke Saalfelden-Wörgl den schweren Gebirgs-Schnellzugdienst übernehmen, und zwar in einem Fahrplan, der an diese Lokomotiven mit kleinen Rädern hinsichtlich Geschwindigkeit zu große Anforderungen stellte. [A 4]

Das Bergwesen Österreichs in den letzten 25 Jahren[1].

Im Jahre 1898 betrug der Wert der Erzeugung des österreichischen Bergbaues rd. 316 Millionen Goldkronen und stieg bis zum Jahre 1913 auf rd. 605 Mill. K. In der gleichen Zeit nahm die Zahl der im Bergbau beschäftigten Personen nur von 157 000 auf rd. 170 000 zu. Die politischen Veränderungen infolge des verlorenen Krieges machten bekanntlich Österreich zu einem erz- und kohlenarmen Lande; so fiel die Braunkohlengewinnung von 27,3 Mill. t (davon 83 vH in Böhmen und 12 vH in Steiermark) im Jahre 1913 auf rd. 2 Mill. t im Jahre 1919, hat sich jedoch seither einschl. des Burgenlandes (1922) wieder auf 3,1 Mill. t erhöht (davon ⅔ in Steiermark). Die Zillingdorfer und burgenländischen Braunkohlenwerke der Stadtgemeinde Wien fördern jetzt rd. 0,5 Mill. t im Tagebau. Die Steinkohlenförderung stieg von 10,95 Mill. t im Jahr 1898 auf 16,5 Mill. t in 1913 (davon entfielen 87 vH auf die jetzt tschechoslowakischen Länder), fiel aber wieder auf 89 792 t im Jahre 1919, und verbesserte sich seither nur auf 165 540 t (d. i. 1 vH der Friedenserzeugung Altösterreichs).

Die Braunkohlenvorräte können nach Dr. Petraschek unter Zugrundelegung der Friedensförderung nur für rd. 130 Jahre ausreichen und sind bei Deckung des Gesamtbedarfs schon in etwa 20 Jahren (!) erschöpft. Ein großer Teil der fehlenden Energiemengen kann allerdings durch Ausbau der Wasserkräfte gedeckt werden[2].

Die Förderung Altösterreichs an Eisenerzen stieg von 1¾ Mill. t (1898) auf 3 Mill. t (1913), davon rd. ⅘ in Steiermark und Kärnten, ⅕ in Böhmen; 1913 wurden rd. 1¾ Mill. t Roheisen, davon 70 vH aus inländischen Erzen erzeugt. Im Jahre 1922 betrug die Roheisenerzeugung Deutschösterreichs rd. 320 000 t, oder wenig mehr als ein Sechstel der Friedenserzeugung Altösterreichs.

Die Gewinnung von Kupfererzen war sehr gering und betrug 1913 etwa 16 000 t. Die Gesamterzeugung an Reinkupfer stellte sich damals auf 36 850 t und stieg während des Krieges auf 58 800 t. In der Nachkriegzeit fiel die Kupfererzeugung auf rd. 6500 t im Jahre 1919, hat aber 1922 bereits rd. 42 800 t erreicht und die Friedenserzeugung Deutschösterreichs um 50 vH überschritten.

Die Bleierzgewinnung stieg im Zeitraum von 1898 bis 1923 von 14 360 auf 25 750 t (davon 60 vH in Kärnten); die Erzeugung von metallischem Blei erreichte im Jahre 1921 rd. 77 vH der Friedensproduktion. — Die Zinkgewinnung betrug 1913 rd. 19 500 t, davon 75 vH in Galizien, und ist nach dem Kriege völlig eingestellt worden. Zinnerze, die vor 1914 noch in Böhmen gewonnen wurden, sind in Deutschösterreich nicht vorhanden; auch Antimon wird in Österreich nicht mehr erzeugt.

Die Gewinnung von Uranerzen, hauptsächlich zur Herstellung der teuren Radiumpräparate, ist durch den Verlust der Joachimstaler Gruben für Österreich verloren gegangen. Die Förderung von Schwefelerzen hat sich seit Kriegsschluß wieder beträchtlich gehoben und mit 23 140 t (1922) die Friedensgewinnung bereits überschritten (1913 20 320 t).

An Golderzen wurden 1913 etwa 36 000 t, hauptsächlich in Böhmen, gefördert und rd. 283 kg Feingold erzeugt; neuerdings hat die Bundesregierung den Goldbergbau namentlich im Hohentauerngebiet, am Rathausberg bei Böckstein, ferner in Kärnten, der im 15. und 16. Jahrhundert in voller Blüte stand (rd. 2600 kg jährlich) und bis zu 10 g Feingold auf 1 t Gestein erreichte, wieder aufgenommen. Nach Ausbau einer Wasserkraftanlage am Pochhartsee konnten rd. 8 km Stollen mit Preßlufthämmern vorgetrieben werden und bisher 82 kg Gold, 476 kg Silber, 225 t Arsen und 380 t Schwefel gewonnen werden. Man hofft, den Jahresertrag bei 500 t Hauwerk täglich auf 14 Mill. Goldkronen (davon 60 vH an Arsen) steigern zu können. Die Gewinnung von Aluminium stieg während des Krieges unter Ausnutzung der Erzvorkommen in Istrien und Dalmatien auf 60 000 t, beschränkt sich aber nunmehr auf das Erzgebiet in Salzburg mit 2638 t (56 vH Aluminiumgehalt) Gewinnung im Jahre 1921[3]. Der Graphitbergbau ergab 1921 rd. 13 280 t Rohgraphit, gegen 17 363 t im Jahre 1913, d. i. rd. 75 vH der Friedenserzeugung, wovon fast die Hälfte ausgeführt wurde.

Durch die Verluste der Erdölquellen in Galizien (1913 1,11 Mill. t) ist Österreich auf die Einfuhr von Petroleum angewiesen. Dagegen hat die Salzgewinnung (1913 7,6 Mill. hl Sole) rd. 50 vH der Friedensproduktion wieder erreicht, wiewohl die Ausfuhr stark zurückgegangen ist. Über die Magnesitgewinnung wird auf S.   ausführlich berichtet.

Nur durch ein zielbewußtes Zusammenwirken der Geologen und praktischen Bergleute, der Privatindustrie und der Staatsbehörden wird es möglich sein, den Fehlbetrag Österreichs auf ein Mindestmaß zu beschränken. [M 98] Rb.

[1] Nach der Festschrift des österr. Ingenieur- und Architektenvereins vom Juni 1923.

[2] Vergl. den Aufsatz von Naehr auf S. 240 dieses Heftes, ferner Ornig, Technik und Wirtschaft 1923 S. 1 bis 64 und Z. Bd. 67 (1923), S. 161.

[3] Die beiden Fabriken in Lendgastein und Steeg können nach Ornig, Technik und Wirtschaft Bd. 16 (1923), S. 64, rd. 5000 t Aluminium jährlich erzeugen.

Das Kraftwerk Partenstein.

Das in mehreren Punkten bemerkenswerte Werk, erbaut von der Oberösterreichischen Wasserkraftgesellschaft und der Stadtgemeinde Linz, verwertet ein Gefälle von 180 m der Großen Mühl zwischen der Ortschaft Neufelden und Partenstein. Im ersten Ausbau ergeben sich 18 000, nach vollem Ausbau 28 000 PS. Die Wasserfassung erfolgt durch einen Stauweiher von rd. ¾ Mill. m³ Inhalt, der durch ein Wehr von 100 m Kronenlänge und 9 m Stauhöhe abgeschlossen wird. Zur Ableitung der Hochwassermengen und des Treibeises sind zwei große Doppelschützen von je 10 m l. W. und ein selbsttätiger Überfall vorgesehen.

Das Wasser wird rd. 400 m oberhalb des Wehrs entnommen und nach Kreuzung des Flußlaufes in fast gerader Richtung mittels eines 5,4 km langen Druckstollens nach dem Wasserschloß geführt. Der Druck im Stollen steigt bis auf 4,5 at an und bedingt eine besonders sorgfältige Auskleidung. Die 20 bis 25 cm dicke kreisförmige Betonschale von 2,8 bis 3 m Innendurchmesser wird nach dem Torkret-Spritzverfahren hergestellt; sie wird mit 6 at Druck, im Bedarfsfall unter 15 at Druck durch Einspritzen von Zementmilch zum satten Anliegen gebracht und mit einem glatten Betonverputz versehen. Nach Angaben des Direktors Kretensky[1] sollen versuchsweise drei Stollenprofile mit Eisenbewehrung oder Formsteinauskleidung ausgeführt werden.

Das Wasserschloß ist als senkrechter Schacht mit Entlastungsstollen und Ausgleichbehälter gegen Belastungsstöße angelegt. Vom Wasserschloß tritt das Wasser in die Apparatekammer, die ein selbsttätiges Rohrbruchventil enthält. Die einfache Rohrleitung hat 2 bis 2,4 m l. W. und ist zum größten Teil offen verlegt.

Die Maschinenanlage ist in einem 22 m tiefen Schacht eingebaut und durch Beton-Entwässerungsrohre gegen Wassereinbruch geschützt. Das Unterwasser der Turbinen wird durch einen 650 m langen Stollen abgeführt, der zugleich als Ausgleichschacht dient. Er wird bei 20 m Gefälle dazu benutzt, ein Hilfskraftwerk von 700 kVA Leistung für den Bau und die umliegenden Ortschaften zu betreiben. Die Maschinenanlage wird zwei, später drei Francis-Spiralturbinen mit senkrechter Welle, Bronzelaufrädern und Gußstahlgehäuse von je 15 000 PS Leistung bei 600 Uml./min enthalten. Die Spurlager der Turbine sind mit federnden Gleitbacken ohne Druckölentlastung gebaut und zur Vermeidung des Heißlaufens mit einer eigenen Pelton-Bremsturbine verbunden.

Zur Stromerzeugung dienen Drehstromdynamos von je 12 000 kVA (8400 kW bei $\cos\varphi = 0,7$) für 5500 V und 50 Per./s mit unmittelbar gekuppelter Erregermaschine. Das Ankergehäuse erhält halbgeschlossene Nuten und verdrillte Spulenstäbe; das Magnetrad und die in Schwalbenschwanznuten eingesetzten Polkörper sind aus Siemens-Martin-Stahlplatten hergestellt. Das auf das Spurlager wirkende umlaufende Gewicht beträgt 46 t. Die Kühlluft wird durch Außenkanäle im Zwischenboden zugeführt, die Warmluft unterhalb des Schaltraumes in Kamine abgeführt. Der Schaltraum für 5500 V befindet sich in gleicher Höhe wie der Maschinenraum, darüber liegt der Bedienungsraum.

Zum Abheben der Maschine bei Reparaturen sind im Zwischenstock mit Druckwasser betriebene Winden vorgesehen, während ein 35 t-Laufkran die Stücke in die anschließende Werkstätte überführt. In diese Werkstätte münden die Gleise für die 110 kV-Schaltgeräte, die nebst den drei Hochspannungstransformatoren in einem besonderen 50 m entfernten Schalthaus untergebracht sind. Von diesem Gebäude führen zwei Drehstromleitungen an gemeinsamen, in 200 m normalem Abstand stehenden Masten mit Stahlaluminiumseilen von je 95 mm² bis nach Linz; zur Befestigung dienen Kugelkopf-Isolatoren. [M 97] Rb.

[1] Elektrot. u. Maschinenb. B. 40 (1922) S. 229.

Elektrische Zugförderung auf den österreichischen Bundesbahnen.

Von Sektionschef Ing. Paul Dittes, Direktor für die Elektrisierung der österreichischen Bundesbahnen.

Programm für die Elektrisierung eines Teiles des Netzes; eingehendere Beschreibung der Elektrisierung der Arlberglinie Innsbruck–Landeck–Bludenz: Wasserkraftwerke, Übertragungsleitungen, Unterwerke und Fahrleitungsanlage; die bisher bestellten und z. T. schon abgelieferten elektrischen Lokomotiven; Zugförderanlagen und Nebenwerkstätten in Innsbruck und Bludenz. Auf der 73 km langen Strecke Innsbruck–Landeck ist der elektrische Betrieb seit Ende 1923 aufgenommen und binnen Jahresfrist wird die Arlbergstrecke bis Bludenz sowie die Salzkammergutlinie — zusammen 243 km — vom Dampfbetrieb auf den elektrischen Betrieb übergeführt sein.

Unter dem Zwange der durch den unheilvollen Ausgang des Krieges geschaffenen politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse ist die Republik Österreich in die Reihe derjenigen Staaten eingetreten, die die elektrische Zugförderung auf ihren Hauptbahnen, insbesondere im Hinblick auf die Ersparnis von Lokomotivkohle unter Nutzbarmachung ihrer Wasserkräfte, in größerem Umfang einführen.

Nachdem schon im Jahre 1919 mit den ersten Arbeiten für die Elektrisierung der Strecken westlich von Innsbruck und der Linie Stainach-Irdning-Attnang-Puchheim begonnen worden war, wurde im Juli 1920 durch die Nationalversammlung ein Gesetz betreffend die Einführung der elektrischen Zugförderung auf den österreichischen Bundesbahnen angenommen[1]), nach dem in einem ersten Bauabschnitt die Strecken Innsbruck-Bregenz bis zur Reichsgrenze einschließlich der Nebenlinien, die Westbahnteilstrecken Salzburg-Schwarzach-St. Veit-Spittal-Millstättersee und schließlich die Salzkammergutlinie Stainach-Irdning-Attnang-Puchheim auf elektrischen Betrieb umgewandelt werden sollten. Dieses Netz weist eine Betriebslänge von 652 km auf, 412 km hiervon sind eingleisig, 240 km zweigleisig.

Die oben genannten Strecken sind fast durchwegs ausgesprochene Gebirgsbahnen mit großen Neigungen und zahlreichen Tunneln; da sie ferner vergleichsweise große Verkehrsleistungen zu bewältigen haben, also einen spezifisch und auch absolut hohen Kohlenverbrauch aufweisen, so waren die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für die Zweckmäßigkeit des Überganges vom Dampfbetriebe zum elektrischen Betriebe gegeben.

Von großem Einfluß auf die Streckenauswahl waren ferner die für die Beschaffung der elektrischen Energie bzw. für den Ausbau der zum Bahnbetrieb erforderlichen Wasserkräfte maßgebenden Verhältnisse. Die österr. Staatsbahnverwaltung hatte sich auf Grund langjähriger Vorarbeiten und auf Grund der mit den Ländern Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten gepflogenen Verhandlungen eine Reihe von Wasserkräften gesichert, die technisch und wirtschaftlich für Bahnbetriebszwecke besonders geeignet sind. Es konnte also rasch zum Ausbau dieser Wasserkräfte geschritten werden.

Spullerwerk, Ansicht des Baugeländes von Süden.

Zur Zeit der Einbringung der Gesetzesvorlage war die Frage des Ausbaues der Wasserkräfte der Donau und der Enns und damit auch das Problem der Energieversorgung der Strecke Wien-Linz noch ungelöst, und auch heute ist diese Frage noch nicht vollkommen geklärt. Auch dieser Umstand spricht dafür, daß es richtig war, mit dem Ausbau der Wasserkräfte und der Elektrisierung der österr. Bahnen im Westen zu beginnen.

Verschiedene Umstände, insbesondere die Finanzlage des österr. Staates, haben es mit sich gebracht, daß das oben gekennzeichnete Bauprogramm nicht in dem hierfür in Aussicht genommenen Zeitraum verwirklicht werden konnte, und daß es im Verlaufe der bisherigen Arbeiten nötig wurde, die verfügbaren Geldmittel zunächst auf zwei Strecken, d. i. auf die Arlberglinie und auf die Salzkammergutlinie zusammenzufassen, während die Arbeiten für die Elektrisierung der Linien Salzburg-Wörgl und Schwarzach-St. Veit-Spittal-Millstättersee, abgesehen von den in mäßigem Umfang betriebenen Kraftwerkbauten, zunächst in den Hintergrund treten mußten.

Vor kurzem wurde das in Österreich liegende Netz der ehemaligen Südbahn-Gesellschaft in den Betrieb der österrreichischen Bundesbahnen übernommen. Gewisse Linien dieses Netzes dürften, falls die erforderliche Energie zu entsprechenden Bedingungen beschafft werden kann, für die Einführung der elektrischen Zugförderung gut geeignet sein. Dies gilt z. B. von der Strecke Kufstein-Wörgl-Innsbruck-Brenner, die auch wegen ihres Zusammenhanges mit der elektrisierten Arlberglinie stark in Betracht kommt. Die Einbeziehung des Südbahnnetzes in den Betrieb der österr. Bundesbahnen, die in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen bezüglich der voraussichtlichen Verkehrsentwicklung der einzelnen Linien der österr. Bundesbahnen, ferner die in den Preisen und in den Bezugsquellen der Dampflokomotivkohle eingetretenen Änderungen können es mit sich bringen, daß sich in Österreich — wie es ja auch in andern Ländern der Fall war — gewisse Abweichungen vom ursprünglich aufgestellten Elektrisierungsprogramm als zweckmäßig erweisen werden.

Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich, die Entwicklung der österreichischen Elektrisierungsbauten seit dem Jahre 1919 eingehender darzustellen, und ich möchte diesbezüglich auf meine Veröffentlichungen in den letzten Jahren verweisen[2]). Die erfreuliche Tatsache, daß es trotz der Ungunst der Verhältnisse der letzten Jahre Mitte vorigen Jahres bereits möglich war, mit einem elektrischen Probebetrieb auf der Teilstrecke Innsbruck-Telfs zu beginnen, während die 73 km lange Strecke Innsbruck-Landeck seit Ende vorigen Jahres elektrisch befahren wird, veranlassen mich, im folgenden die

Elektrisierung der Arlberglinie Innsbruck-Landeck-Bludenz

etwas näher zu besprechen.

Als Stromart für den elektrischen Betrieb der österreichischen Bundesbahnen wurde bekanntlich — in Übereinstimmung mit den Schweizerischen Bundesbahnen und der Deutschen Reichsbahn — Einphasen-Wechselstrom mit $16^2/_3$ Per./s und 15 000 V mittlerer Fahrdrahtspannung gewählt.

Die im Zuge der österreichischen Hauptverkehrsader West-Ost gelegene 136 km lange Strecke Innsbruck–Landeck-Bludenz, Abb. 1 weist zwischen ihren Endpunkten und dem Scheitelpunkt des 10250 m langen Arlbergtunnels Höhenunterschiede von 729 m bzw. 752 m auf; die größte Steigung auf der Ostrampe der eigentlichen Arlbergstrecke beträgt 26,4 vT auf der Westrampe hingegen 31,4 vT. Außer dem Arlbergtunnel liegen zwischen Landeck und Bludenz noch weitere 13 Tunnel mit 4652 m Gesamtlänge. Mit Ausnahme der 11 km langen Strecke St. Anton-Langen (mit dem Arlbergtunnel) ist die Strecke eingleisig. Die Lüftungsverhältnisse des Arlbergtunnels und auch einiger der kürzeren Tunnel sind zeitweise sehr ungünstig, was im Verein mit den schwierigen Neigungs- und Richtungsverhältnissen beim bisherigen Dampfbetrieb überaus erschwerend auf die Abwicklung des zeitweise sehr starken Verkehrs eingewirkt hat. Hierin wird die elektrische Zugförderung vollkommen Wandel schaffen und die im Dampfbetrieb heute schon erreichte Grenze der Leistungsfähigkeit der Strecke ganz wesentlich erhöhen. Die Fahrzeit der Schnellzüge zwischen Landeck und Bludenz, die derzeit rd. 2 h beträgt, wird auf rd. $1\frac{1}{2}$ h abgekürzt werden können.

Für den elektrischen Betrieb aller Strecken westlich von Innsbruck (Innsbruck-Landeck-Bludenz-Feldkirch-Bregenz-Lindau,

[1]) s. Z. Bd. 65 (1921) S. 181.

[2]) „Der gegenwärtige Stand der Elektrisierung unserer Staatsbahnen“, Zeitschr. d. Österr. Ingenieur- u. Architektenvereines 1920 Heft 17, Elektrot. u. Maschinenbau Bd. 38 (1920) Heft 19, Elektr. Kraftbetr. u. Bahnen Bd. 18 (1920) Heft 20 u. 21;

„Über den Fortgang der Arbeiten zur Elektrisierung unserer Staatsbahnen“, E. u. M. Bd. 39 (1921) Heft 16. E. K. B. Bd. 19 (1921) Heft 8, 9 und 12;

„Der gegenwärtige Stand der Elektrisierung der österr. Staatsbahnen“, Schweizerische Wasserwirtschaft Bd. 13 (1921) Heft 3 bis 10;

„Die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen“, Zeitschr. des österr. Ingenieur- und Architektenvereines Bd. 73 (1921) Heft 34/35;

„Der Stand der Arbeiten für die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen zu Beginn des Jahres 1922“ Sonderheft von Elektrotechnik und Maschinenbau Mai 1922;

„Der Stand der Arbeiten für die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen zu Beginn des Jahres 1923“. E u. M. Bd. 41 (1923) Heft 15.

Vgl. auch Z. Bd. 66 (1922) S. 351.

Feldkirch-Buchs und Bregenz-St. Margarethen) sind zwei im nahen Bereich der zu speisenden Strecken liegende

Wasserkraftwerke

bestimmt, von denen das Ruetzwerk unweit Innsbruck eine Mitteldruckanlage mit einem Wasserschloß zum Ausgleich der kurzzeitigen Belastungsschwankungen ist, während das andre, das Spullerseewerk, nächst Danöfen auf der Westrampe der Arlbergstrecke gelegen, eine Hochdruckanlage mit Jahresspeicher ist. Die beiden Werke werden durch eine Übertragungsleitung mit 55 000 V Spannung die längs der Strecke verteilten Unterwerke speisen. Die Kraftwerke sind durch diese Leitung elektrisch gekuppelt, werden sich daher insbesondere auch wasserwirtschaftlich ergänzen; die verfügbaren Wasserkraftleistungen werden infolge dieser Kupplung fast restlos ausgenutzt werden können.

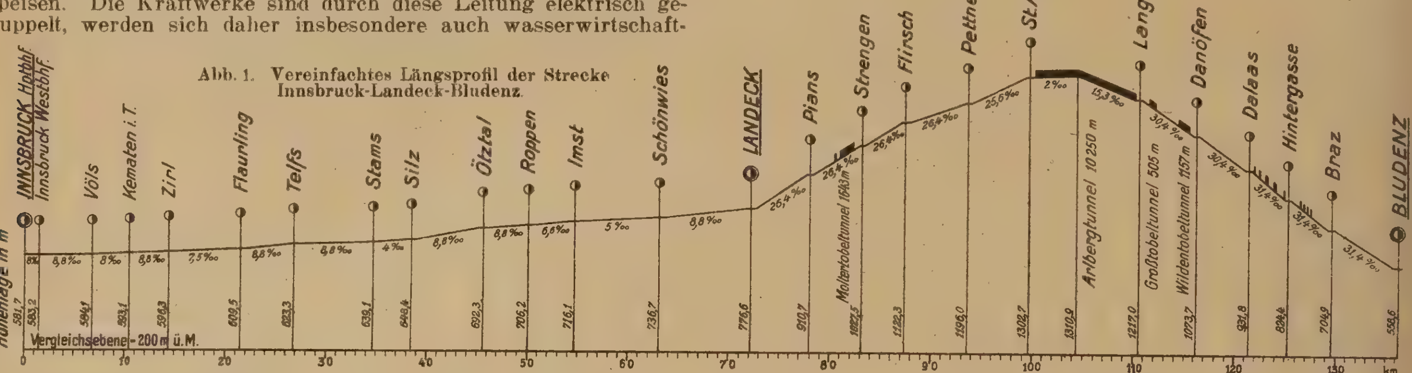
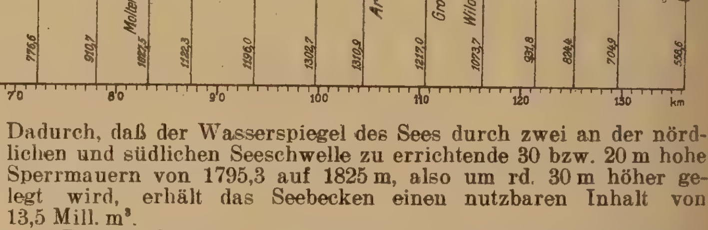



Abb. 1. Vereinfachtes Längsprofil der Strecke Innsbruck-Landeck-Bludenz.

Das Ruetzwerk kann jährlich etwa 39 Millionen kWh, das Spullerseewerk 25 Millionen kWh liefern, was einer Gesamtleistung beider Werke von rd. 64 Mill. kWh entspricht. Da die Strecken westlich von Innsbruck einschließlich der Mittenwaldbahn unter Zugrundelegung der Verkehrstärke des Jahres 1913 nur rd. 43 Mill. kWh erfordern, ist der Energiebedarf dieser Strecken durch die beiden erwähnten Kraftwerke bis auf weiteres vollkommen gedeckt.

Das ursprünglich nur für den Betrieb der Mittenwaldbahn erbaute und seit 1912 in Betrieb stehende Ruetzkraftwerk nutzt das rd. 180 m betragende Gefälle des Ruetzbaches zwischen Vulpmes und der Einmündung in die Sill aus. Ursprünglich mit 2 Maschinensätzen zu je 4000 PS ausgestattet, erhielt es anläßlich der Elektrisierung der Arlbergstrecke einen dritten Maschinensatz zu 8000 PS, Abb. 2. Hand in Hand damit ging eine Erweiterung

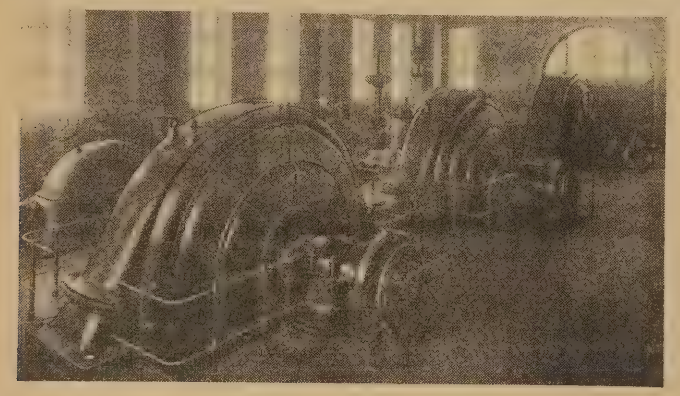


Abb. 2. Ruetzwerk: Inneres des Maschinenhauses. Rechts der neue 8000 PS-Maschinensatz, der bei gleicher Umlaufzahl nur wenig größer ist als die beiden alten 4000 PS-Einheiten.

des bestehenden Wasserschlosses von 3000 auf 7000 m³ nutzbaren Inhalt, die Legung eines zweiten Druckrohrstranges, die Aufstellung eines Transformators für eine Dauerleistung von 4000 kVA und eine Spitzenleistung von 7500 kVA, sowie eine vollständige, den erhöhten Betriebsanforderungen angepaßte Ausgestaltung der vorhandenen Schaltanlage und der Nebenanlagen für elektrische Beheizung und Beleuchtung, Betätigung der Schalter, Signaleinrichtungen usw.

Alle mit dieser Ausgestaltung zusammenhängenden, zum Teil sehr schwierigen, weil während des Betriebes der Anlage durchzuführenden Arbeiten sind seit Mitte vorigen Jahres vollendet, und seitdem steht das erweiterte Ruetzwerk ohne Störung im Betriebe. An der Ausgestaltung waren hauptsächlich die Bauunternehmung Innerebner & Mayer, vorm. J. Riehl in Innsbruck (baulicher Teil), die AEG-Union-E.-G., Wien (gesamter elektrischer Teil), die Maschinenfabrik J. M. Voith in St. Pölten (Turbine) und die Lokomotivfabrik Krauß & Co. in Linz (Druckrohrleitung) beteiligt.

Der Anlage des Spullerseewerkes, s. Titelbild, liegt der Gedanke zugrunde, die gesamten Jahresniederschlagwässer des Einzuggebietes des auf der Höhe von 1800 m nördlich von Danöfen gelegenen Sees in seinem durch zwei Sperrmauern vergrößerten Becken zu sammeln und in der rd. 800 m hohen Gefällstufe zum Alfenzbach zur Gewinnung elektrischer Energie auszunutzen[1]). Das Einzuggebiet des Spullerseebeckens umfaßt einen Flächenraum von 10,7 km², die mittlere jährliche Niederschlaghöhe des Einzuggebietes beträgt rd. 2050 mm; unter Zugrundelegung einer Abflußziffer von 75 vH ergibt sich eine mittlere jährliche Abflußmenge von 17¼ Mill. m³.

Die Oberfläche des Sees auf der Höhe 1795,3 beträgt rd. 18,4 ha, sein Inhalt ungefähr 2 Mill. m³ bei 19 m größter Tiefe. Dadurch, daß der Wasserspiegel des Sees durch zwei an der nördlichen und südlichen Seeschwelle zu errichtende 30 bzw. 20 m hohe Sperrmauern von 1795,3 auf 1825 m, also um rd. 30 m höher gelegt wird, erhält das Seebecken einen nutzbaren Inhalt von 13,5 Mill. m³.

Das Kraftwerk wird in seinem vollen Ausbau 6 Maschinensätze zu je 8000 PS Leistung erhalten. Vorläufig gelangen 3 Sätze zur Aufstellung. Die von der Leobersdorfer Maschinenfabriks-A.-G. gebauten Turbinen, Abb. 3, sind Peltonräder, die mit 333 Uml./min laufen und mit den Einphasenwechselstromerzeugern starr gekuppelt werden. Die Höchstleistung der Turbinen beträgt je 8000 PS, was einer Schluckfähigkeit von rd. 1 m³/s entspricht. Bei normaler Beaufschlagung (Wasserverbrauch 720 l/s) leisten die Turbinen je 6000 PS. Das Laufrad hat 3,25 m Strahlkreis-

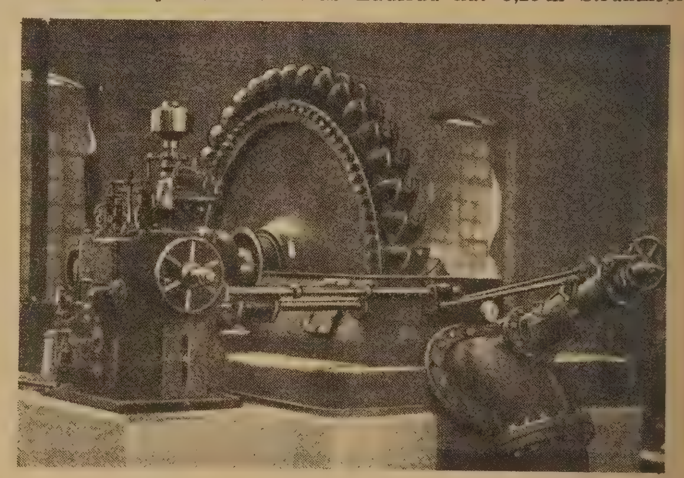


Abb. 3. Spullerseewerk: Eine der 8000 PS-Turbinen, zusammengebaut in der Montagebauhalle der Leobersdorfer Maschinenfabriks-A.-G.

Dmr. Die geschliffenen Schaufeln aus Stahlguß sind auswechselbar. Sie werden selbsttätig durch Strahlablenker und Nadelverstellung mittels eines Servomotors, im Notfalle von Hand geregelt. Für die Parallelschaltung der Stromerzeuger kann die Umlaufzahl der Turbinen sowohl von Hand als auch durch elektrische Fernbetätigung innerhalb der Grenzen von 308 bis 358 Uml./min verstellt werden. Jede Turbine hat eine Sicherheitseinrichtung gegen Durchgehen bei vorkommendem Bruch des Regler-Antriebriemens. Zum raschen Stillsetzen des Laufrades nach Abstellen der Turbine dient eine Gegendüse. Der Wirkungsgrad der Turbinen ist mit 82 vH bei 6000 PS und mit 80 vH bei 8000 PS gewährleistet.

Die Einphasenwechselstromerzeuger, Abb. 4, haben eine Leistung von 3000 kVA dauernd und anschließend daran von 5400 kVA 30 min lang oder 7500 kVA 6 min lang. Spannung: 6000 bis 6500 V bei gleichbleibender Leistung; Frequenz: 16⅔ Per./s. Die Stromerzeuger sind vollständig gekapselt mit knapp an den Läufer angebautem Schwungrad, haben Eigenbelüftung, zweiteiligen Ständer, zwei Lager mit Wasserkühlung. Das Schwungmoment des Läufers beträgt 120 tm², dasjenige des Schwungrades 100 tm². Außerdem werden noch 50 tm² in der

[1]) s. a. Z. Bd. 64 (1920) S. 607, Bd. 65 (1921) S. 450, Bd. 66 (1922) S. 851.

Turbine untergebracht, so daß der ganze Maschinensatz ein Schwungmoment von 270 tm² aufweist. Die gesamte elektrische Ausrüstung des Kraftwerkes wird von den Österr. Siemens-Schuckert-Werken geliefert.

Hinsichtlich des hochbemerkenswerten baulichen Teiles dieser Anlage, dessen Ausführung ebenfalls der Bauunternehmung Innerebner & Mayer, vorm. J. Riehl in Innsbruck übertragen ist, insbesondere hinsichtlich der Sperrmauern, der Stollenbauten, der Druckrohrleitungen usw., sei auf die eingangs erwähnten Veröffentlichungen hingewiesen.

Ruetzwerk und Spullerseewerk sind — wie schon erwähnt — mittels einer 123 km langen

Übertragungsleitung

für 50 bis 55 kV Betriebspannung verbunden, an welche die Unterwerke Zirl, Roppen, Flirsch und Danöfen angeschlossen werden. Diese Übertragungsleitung wird teils auf eigenem Gestänge abseits der Bahn, teils auf dem Fahrleitungsgestänge geführt. Ihr interessantester, aber auch schwierigster Teil ist die Strecke zwischen St. Anton und Langen, die über den Arlberg führt, eine Höhe von 2019 m erreicht und große Spannweiten zwischen den einzelnen Masten, bis zu 226 m, aufweist, Abb. 5 bis 7.

Bei der Wahl der Trasse mußte das Augenmerk vor allem darauf gerichtet sein, einen lawinenfreien Übergang herauszufinden. Deshalb konnte die Leitung nicht längs oder in nächster Nähe der Arlbergstraße verlegt werden, obwohl hierdurch die Bauarbeiten wesentlich vereinfacht worden wären. Besonders ungünstig für eine Leitungsführung ist die Strecke zwischen St. Christoph und der Alpe Rautz: die Straße wird hier beiderseits von lawinengefährdeten Hängen begleitet. Die Leitung wird daher von St. Christoph aus bergauf geführt und steigt zur Hochfläche der sogenannten Brunnenköpfe bis auf eine Höhe von 2019 m. Die Leitung geht dann zur Alpe Rautz hinunter, kreuzt dort die Arlbergstraße und gelangt, durch einen Felsrücken von der Arlbergstraße getrennt, zu den Schleifenentwicklungen der Flexenstraße und nach nochmaliger Übersetzung der Arlbergstraße auf die zum Schutze der Ortschaft Stuben an deren Nordende errichtete Lawinenschutzmauer. Sie erreicht die Bahn am tunnelseitigen Ende des Bahnhofes Langen.

Wegen der ungünstigen Witterungsverhältnisse werden Bronzeseile verwendet. Als Mindesthöhe der Leitungen über dem Erdboden wurden 7 m vorgeschrieben. Die endgültige Ausführung weist 83 Zwischenstützpunkte bei einer gesamten wagrechten Leitungslänge von 11 655 m auf, so daß die mittlere wagerechte Spannfeldlänge etwa 140 m beträgt. Die zur Verwendung gelangende Bronze hat eine Leitfähigkeit von 80 vH derjenigen des Kupfers und 60 kg/mm² Bruchfestigkeit. Entsprechend einem Kupferquerschnitte von 70 mm² in den anschließenden Leitungsteilen wurde für die Paßleitung ein Bronzequerschnitt von 95 mm² gewählt.

Was die vier

Unterwerke

der Strecke Innsbruck-Bludenz betrifft, so erhalten die auf den Steilrampen des Arlberg gelegenen „großen" Unterwerke Flirsch und Danöfen zunächst je zwei, im vollen Ausbau je vier Transformatoren von je 2400 kVA Dauerleistung und je 9600 kVA kurzzeitiger Höchstleistung, während die auf den flacheren Zufahrtlinien angeordneten Unterwerke Zirl, Abb. 8 und 9, und Roppen zunächst je zwei, im vollen Ausbau aber je drei Transformatoren von je 1900 kVA Dauerleistung und 7600 kVA Höchstleistung erhalten. Das Übersetzungsverhältnis aller Transformatoren beträgt 50 000/15 000 bis 55 000/16 500 V bei gleichbleibender Leistung.



Abb. 4. Spullerseewerk: Einphasen-Wechselstromerzeuger, österr. Siemens-Schuckert-Werke.

Das Unterwerk Danöfen wird baulich und betrieblich mit dem Spullerseekraftwerk in Verbindung stehen, während die drei anderen Unterwerke vollkommen selbständige Anlagen darstellen. Die gesamte elektrische Ausrüstung der Unterwerke Zirl, Roppen und Flirsch wurde der „Elin"-A.-G. für elektrische Industrie übertragen, als deren Unterlieferer für die Schaltapparate die Firma Sprecher & Schuh in Linz eingetreten ist. Die baulichen Herstellungen für Zirl und Roppen wurden durch die Bauunternehmung Ing. A. Spritzer in Innsbruck ausgeführt, während das Unterwerk Flirsch von der Bundesbahndirektion Innsbruck im Eigenbetrieb errichtet wird.

Die



Fahrleitungsanlage

weist einen Hartkupferfahrdraht von 100 mm² Querschnitt auf (im Albergtunnel für die beiden Gleise je 2×100 m²), mit doppelter Isolation gegen Erde. Im Arlbergtunnel wird eine kurze Strecke des einen Gleises versuchsweise mit einfacher Isolation ausgestaltet. In den der AEG-Union zur Ausführung übertragenen Strecken Innsbruck-Westbahnhof - Telfs und Langen-Bludenz

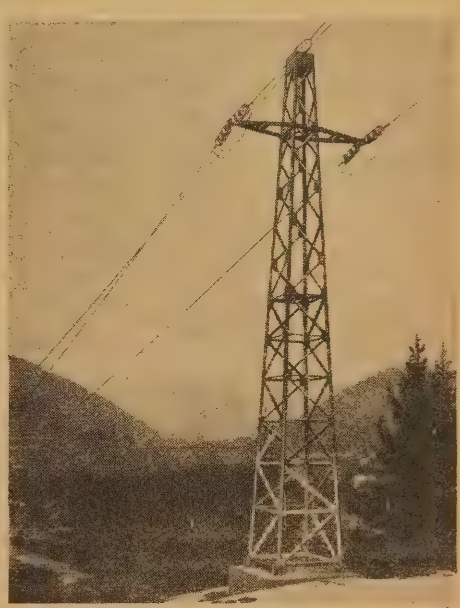


Abb. 5. 55 kV-Übertragungsleitung nächst dem Ruetzwerk; AEG-Union-Elektrizitätsgesellschaft



Abb. 7. 55 kV-Übertragungsleitung auf den Brunnenköpfen zwischen St. Christoph und Rautz in 2019 m Höhe ü. M.; österr. Siemens-Schuckert-Werke.



Abb. 6. 55 kV-Übertragungsleitung zwischen St. Anton und St. Christoph; österr. Siemens-Schuckert-Werke.

gelangt eine Fahrleitung mit Einfachkettenwerk zur Ausführung, Abb. 10 und 11. Das Tragseil ist über Rollen geführt, wird gemeinsam mit dem Fahrdraht abgefangen und nachgespannt. Die Regelspannweite beträgt 75 m. Die Isolation ist durchweg doppelt, und es werden nur Kettengliedisolatoren benutzt.

Auf der Teilstrecke Telfs-Landeck-Langen gelangt die bekannte Bauart der ÖSSW zur Anwendung, Abb. 11, bei der nur der Fahrdraht eine Gewichtnachspannung erhält. Das Tragseil aus Stahl weist einen Querschnitt von 50 mm² auf, als Hilfstragseil dient ein Stahldraht von 6,5 mm Dmr.

Einen besonders schwierigen Teil der Fahrleitung bildet die Ausrüstung der zahlreichen, zum Teil langen Tunnel, besonders



Abb. 8. Unterwerk Zirl: elektrotechnische Ausrüstung: „Elin", A.-G. für elektrische Industrie, Wien; baulicher Teil: Bauunternehmung A. Spritzer, Innsbruck; Architekt L. Welzenbacher.

hinsichtlich der Unterbringung der Leitungen und der Isolatoren, da bei dem seinerzeitigen Tunnelbau auf eine spätere Elektrisierung natürlich keine Rücksicht genommen wurde; die Profile sind fast durchweg sehr knapp. Die Einbauarbeiten sind äußerst anstrengend und mühevoll um so mehr, da die Tunnel ja mit Dampflokomotiven befahren werden und schlecht gelüftet sind. Es mußte daher, um die nötigen Abstände der spannungführenden Teile von der Tunnelleibung, sowie eine einwandfreie Stromabnahme sicherzustellen, durchweg zu Sonderkonstruktionen gegriffen werden; in einzelnen Tunneln auf der Arlberg-Westrampe erweist sich eine Senkung der Gleise bis zu 16 cm als notwendig.

Über die

elektrischen Lokomotiven

ist zu bemerken, daß die für die Elektrisierung zunächst in Aussicht genommenen Strecken teils ausgesprochene Gebirgsbahnen mit starken Steigungen (bis zu 31,4 vT) und ungünstigen Richtungsverhältnissen, teils Talstrecken mit geringen Höchststeigungen und solchen Richtungsverhältnissen umfassen, die hohe Ge-

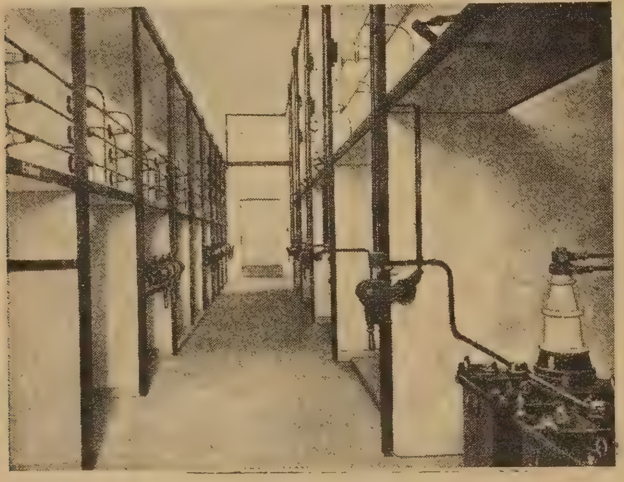


Abb. 9. Unterwerk Zirl: 55 und 15 kV-Sammelschienen, Trennmesserantriebe.

schwindigkeiten zulassen. Da außerdem bei den einzelnen Strecken namhafte Unterschiede hinsichtlich der zu befördernden Zuglasten bestehen, so sind die Anforderungen, die bezüglich Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit der Lokomotiven gestellt werden, sehr verschiedenartig. Es ergibt sich daher unvermeidlich die Notwendigkeit, verschiedene Lokomotivbauarten zu schaffen, damit den einzelnen Anforderungen möglichst vollkommen entsprochen werden kann. Da es jedoch anderseits im Hinblick auf die Forderung einfacher und billiger Erhaltung der Triebfahrzeuge zweckmäßig ist, den elektrischen Betrieb mit einer geringen Zahl verschiedener Lokomotivbauarten zu beginnen, so müssen die einzelnen Lokomotivtypen so ausgebildet werden, daß sie für ein ausgedehntes Verwendungsgebiet geeignet und nicht allzu eng an bestimmte Strecken und Dienstzweige gebunden sind.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, haben die österreichischen Bundesbahnen bisher folgende, in erster Linie für die Arlbergstrecke und die Linie Stainach-Irdning-Attnang-Puchheim bestimmte Lokomotiven bestellt:

1. Sieben 1 C + C 1-Gebirgs-Schnellzuglokomotiven, Abb. 13. Die Lokomotive[1]) besteht aus zwei einander vollständig gleichen Drehgestellen mit je drei gekuppelten Triebachsen und einer Laufachse. In jedes Drehgestell sind zwei Motoren von je 500 PS Dauerleistung eingebaut. Die beiden Motoren sind unmittelbar aneinandergerückt, halbhoch im Rahmen gelagert und gegenseitig versteift. Sie übertragen mittels federnder Ritzel der Bauart Lokomotivfabrik Winterthur ihr Drehmoment auf eine gemeinsame Vorgelegewelle (Blindwelle) mit beiderseits angeordneten großen Zahnrädern im Übersetzungsverhältnis von 21 : 69.

Die Triebachsen sind in einem Innenrahmen fest gelagert, die Laufachsen sind als Adams-Achsen mit einem Seitenspiel von 58 mm ausgebildet. Die Spurkränze der mittleren Triebachsen jedes Drehgestelles sind um 9 mm schwächer gedreht. Auf den Triebgestellen sind, durch Blechverschalung gegen Witterungseinflüsse geschützt, außer den Hauptmotoren die Ventilatoren für die Kühlung der Motoren, die Vakuumpumpen für die Luftsaugebremse, sowie einer der Kompressoren für die Drucklufteinrichtung untergebracht. Auf den durch eine Kurzkupplung unter Zwischenschaltung einer 17blättrigen Feder miteinander verbundenen Drehgestellen ruht der mittlere Kastenteil der Lokomotive, worin der Transformator, die elektrischen Steuerungs- und Sicherungsapparate, der zweite Kompressor für die Drucklufteinrichtung, die Ölumlaufpumpe für das Transformatorenöl, sowie vorn und hinten die beiden Führerstände untergebracht sind, die einen guten Ausblick auf die Strecke gewähren, da die Vorbauten der Triebgestelle nur bis zur halben Höhe des Führerhauses reichen.

Abb. 10. Fahrleitung und 55 kV-Übertragungsleitung nächst Zirl: AEG Union, Elektr.-Ges.

Die freie Beweglichkeit der Triebgestelle in Gleiskrümmungen wird durch zwei Drehzapfen, von denen einer ein Längsspiel hat, ermöglicht. Das Gewicht des mittleren Teiles, der keinerlei Zugkräfte zu übertragen hat, wird durch vier mit senkrechten Spiralfedern versehene Abstützungen, die sich in wagrechten Gleitpfannen bewegen, getragen. Durch die weitgehende Gliederung der Lokomotive und Beweglichkeit der Achsen ist es möglich, mit voller Geschwindigkeit Gleiskrümmungen bis zu 180 m und bei verminderter Geschwindigkeit (in Weichen) sogar Kurven bis zu 150 m Halbmesser zu durchlaufen.

Die elektrische Ausrüstung ist in der Lokomotive derart verteilt, daß die hochspannungführenden Teile ausschließlich auf dem Mittelteildach und in dem Hochspannungsraum im Mittelteil untergebracht sind. Für die Stromabnahme auf der freien Strecke sind zwei Scheren-Stromabnehmer mit 1800 mm Konstruktionsbreite vorgesehen, die durch Federdruck an den Fahrdraht angepreßt werden. Die Federanordnung ist durch eine Luftdruckeinrichtung derart gedämpft, daß den das Heben des Stromabnehmers bewirkenden Federn durch eine im Druckzylinder eingebaute etwas stärkere Druckfeder entgegengewirkt wird. Tritt in den Zylinder Druckluft ein, so überwindet sie den Druck dieser Feder, und die Stromabnehmer werden sanft angehoben.

Das Profil des zweigleisigen Arlbergtunnels macht es unmöglich, mit einem derart breiten Stromabnehmer, wie er für die offene Strecke mit Rücksicht auf die Mastentfernung gewählt werden mußte, zu fahren. Für die Tunnelstrecke mußte daher ein schmaler Stromabnehmer vorgesehen und eine Einrichtung getroffen werden, die das selbsttätige Wechseln der Stromabnehmer bei Tunnelein- und -ausfahrt zuläßt. Diese besteht aus einem Druckluftventil, das von der Bewegung des Scherenstromabnehmergestänges betätigt wird. Sinkt die Fahrdrahthöhe unter ein gewisses Maß, d. h., wird der große Stromabnehmer unter 5,3 m über S.-O. heruntergedrückt, so bewirkt die Verdrehung des Bügelventils, daß der schmale Stromabnehmer Druckluft erhält und gegen den Fahrdraht gehoben wird. Bei der weiteren Absenkung des Fahrdrahtes wird der Zylinder des großen Stromabnehmers vollständig entlüftet, und der Stromabnehmer sinkt nieder, während der Tunnel-Stromabnehmer am Fahrdraht bleibt. Bei Anstieg des Fahrdrahtes bei der Tunnelausfahrt geht der Vorgang in umgekehrter Weise vor sich.

Zwischen Stromabnehmer und Transformator ist der Hauptölschalter eingebaut. Er ist als Schutzschalter mit Vielfachunter-

[1]) s. a. Z. Bd. 66 (1922) S. 352.


Abb. 11. Fahrleitungsanlage auf der Station Völs. AEG-Union. Elektr.-Ges.


Abb. 12. Fahrleitungsanlage auf der Station Ötztal Österr. Siemens-Schuckert-Werke.

brechung ausgebildet; die Schutzwiderstände sind mit den Hauptkontakten in einem gemeinsamen, geschweißten, herablaßbaren Ölkessel untergebracht. Der Schalter wird durch Druckluft betätigt und entweder durch das Maximalzeitrelais im Hochspannungsstromkreis oder durch zwei Maximalzeitrelais in den beiden Motorenstromkreisen oder schließlich durch ein Nullspannungsrelais beim Ausbleiben der Spannung gelöst. Im Notfalle kann die Ausschaltung auch von Hand durch den Führer erfolgen.

Der für eine Dauerleistung von 1730 kVA bemessene und für Ölumlaufkühlung eingerichtete Transformator ist mit einem Stufenschalter unmittelbar zusammengebaut, so daß besondere Verbindungsleitungen vollkommen entfallen. Der Transformator hat 18 Anzapfungen, die zu den entsprechenden Kontakten des Stufenschalters geführt sind. Die Abstufungen gehen von 0 bis höchstens 1260 V bei Vollast oder 1329 V bei Leerlauf. Eine Stufe umfaßt im Mittel etwa 70 V. Der Stufenschalter wird von den in den Führerständen befindlichen Blindkontrollern mittels Handrades und Kettenradübertragung betätigt.

Die Triebmotoren sind zwölfpolige kompensierte Reihenschluß-Motoren mit phasenverschobenen Wendefeldern und Widerstandsverbindungen zwischen Läuferwicklung und Kollektor. Diese Widerstandverbindungen, die sich im Betriebe bisher sehr gut bewährt haben, ermöglichen die Wahl einer hohen Klemmenspannung (630 V) und damit kleine Leiterquerschnitte und entsprechend kleinere Apparate im Motorstromkreis. Die Motoren haben je 441 kW Stundenleistung und 368 kW Dauerleistung, beides bei 510 V Motorspannung und etwa 640 Uml./min. Die Triebmotoren werden durch angebaute Ventilatoren gelüftet, die je Motor 2m³ Luft durch Anker und Feldkörper treiben, wobei diese ausgiebig gekühlt werden und der Kohlen- und Kupferstaub vom Kollektor ins Freie geblasen wird.

Gebremst wird die Lokomotive durch die bei den Österr Bundesbahnen als Regelbauart eingeführte selbsttätige Vakuumschnellbremse, Bauart Hardy. Die Luftverdünnung wird durch drei elektrisch angetriebene Luftsaugepumpen erzeugt. Außer der Vakuumschnellbremse, die von jedem Führerstand aus betätigt werden kann, ist noch eine Handspindelbremse vorgesehen.

Die wichtigsten Konstruktionszahlen der Lokomotive sind die folgenden:

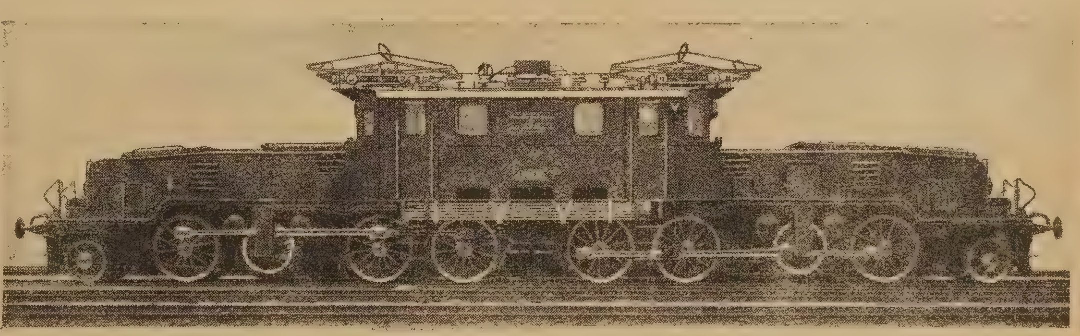
Länge über Puffer	20 350	mm
größte Breite	3 110	„
Dachhöhe über S.-O.	3 805	„
Triebrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	1 350	„
Laufrad-Dmr bei 70 mm Radreifendicke	870	„
Kurbelhalbmesser	315	„
gesamter Radstand	17 700	„
Abstand der Triebgestellzapfen	6 980	„
Radstand eines Triebgestelles	7 520	„
Radstand der gekuppelten Achsen in einem Triebgestell	5 520	„
Verschiebbarkeit der Laufachsen beiderseits je	58	„
Gesamtgewicht	115	t
Reibungsgewicht	87	„
Dauerzugkraft	10	„
Anfahrzugkraft	16,5	„
Höchstgeschwindigkeit	65	km/h.

Diese Lokomotiven, von denen 5 Stück bereits abgeliefert sind und auf der Strecke Innsbruck-Landeck im Dienste stehen, werden auf der Ostrampe des Arlbergs (Landeck-St. Anton, 26.4 vT Steigung) Schnellzüge von 360 t mit 50 km/h Geschwindigkeit und Güterzüge von 380 t mit 25 km/h Geschwindigkeit, auf der Westrampe (Bludenz-Langen 31,4 vT Steigung) Schnellzüge von 300 t Gewicht mit 45 km/h und Güterzüge von 320 t Gewicht mit 20 km/h befördern. Der elektrische Teil der Lokomotiven wurde von den Österr. Brown-Boveri-Werken in Wien als Hauptlieferern der vollständigen Lokomotiven, der mechanische Teil von der Wiener Lokomotivfabriks-A.-G. in Floridsdorf hergestellt.

Da die elektrische Ausrüstung der Bergstrecke Landeck Bludenz, wofür diese Lokomotiven eigentlich bestimmt sind, derzeit noch nicht fertig ist, wurden die Übernahmefahrten mit einer Lokomotive auf der Gotthardstrecke der Schweizerischen Bundesbahnen im Herbst vorigen Jahres mit bestem Ergebnis durchgeführt[1]).

2. Für die Beförderung von Personen- und Güterzügen mit geringerem Zuggewicht, aber mit größerer Geschwindigkeit (70 bis 80 km/h für Personenzüge, 45 km/h für Güterzüge) auf Steigungen bis zu 25 vT, wie sie die Strecke Stainach-Irdning-Attnang Puchheim aufweist, wurden z w a n z i g 1 C 1 - L o k o m o t i v e n Abb. 14, bestellt.

In einem festen Innenrahmen sind die drei Triebachsen und zwei Adams-Achsen gelagert, letztere zwecks leichteren Fahrens durch Krümmungen mit 54 mm Seitenspiel. Der Spurkranz der mittleren Triebachse ist aus demselben Grund wie im vorigen Fall um 9 mm schwächer gedreht. Zwischen der zweiten und dritten Triebachse ist zwischen die Rahmenbleche ein Stahlgußgehäuse eingebaut, in dem die beiden Motoren von je 500 PS Dauerleistung angeordnet sind, die mittels Zahnradvorgeleges mit 1 : 4,21 Übersetzung auf eine Blindwelle arbeiten. Zwischen Motorwelle und Zahnradritzel ist in gleicher Weise wie bei den 1 C + C 1-Lokomotiven eine federnde Kupplung nach Bauart Winterthur eingeschaltet. Bei 1 : 4,21 Übersetzung beträgt die Höchstgeschwindigkeit 70 km/h. Es ist jedoch Vorsorge getroffen, daß Zahnräder mit 1 : 3,63 Übersetzung eingebaut werden können, entsprechend 80 km/h Höchstgeschwindigkeit. Eine kurze Treibstange überträgt die Arbeit von der Blindwelle auf die mittlere Triebachse, die mit den übrigen Achsen ebenfalls durch Stangen gekuppelt ist.


Abb. 13. 1 C + C 1 - Gebirgs-Schnellzuglokomotive: Österr. Brown-Boveri-Werke. Wiener Lokomotivfabrik

Im Lokomotivkasten sind sämtliche elektrische Apparate durch Blechverschalung gegen Witterungseinflüsse geschützt untergebracht. In dem niedrigen Vorbau sind die beiden Vakuumpumpen für die Luftsaugebremse, im vorderen Teil des Lokomotivkastens die Drosselspule und der Hauptölschalter eingebaut. Der Transformator, der für 1200 kVA Stundenleistung und 840 kVA Dauerleistung gebaut ist, nimmt die ganze vordere Breite des Lokomotivkastens ein, so daß die an den Seitenflächen angebrachten Kühlrohre zur Kühlung des Öles während der Fahrt wirksam durch die vorbeiziehende Außenluft bestrichen werden. Zur Kühlung der Motoren sind über den beiden Motoren elektrisch

[1]) Eine eingehende Beschreibung der Lokomotive hat Obing. B van Nes im Eisenbahnblatt vom März 1923 veröffentlicht.



Abb. 14. 1 C 1-Personen- und Schnellzuglokomotive: A E G-Union-E-G und Maschinenfabrik der Staatseisenbahngesellschaft, Wien

angetriebene Ventilatoren angeordnet. An der rückwärtigen Seite der Lokomotive befindet sich das geräumige Führerhaus.

Die Lokomotive hat elektrische Schützensteuerung, die mit 15 Fahrstufen die Geschwindigkeit regelt. Durch Kupplung der Steuerkabel ist es möglich, von einem Führerstand aus zwei gekuppelte Lokomotiven gemeinsam zu steuern. Die Steuer- und Fahrtwendeschützen sind über dem Transformator und den Motoren eingebaut.

Die Stromabnehmer sind von der gleichen Bauart wie bei den 1 C + C 1-Lokomotiven. Stromabnehmer, Sandstreuer und Pfeife werden durch Druckluft betätigt, die ein im hinteren Vorbau aufgestellter elektrisch angetriebener Kompressor liefert. Die Lokomotive ist ebenfalls mit der selbsttätigen Vakuumschnellbremse, Bauart Hardy, ausgestattet; außerdem ist noch eine Handspindelbremse vorgesehen. Im Bedarfsfalle kann der Lokomotivführer durch bloßes Niederdrücken eines Druckknopfes den Ölschalter der Lokomotive herauswerfen und damit die Lokomotive sofort stromlos machen.

Nachstehend die wichtigsten Konstruktionszahlen der Lokomotive:

Länge über Puffer	12 810	mm
größte Breite	3 150	„
Dachhöhe über S.-O.	3 810	„
Triebrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	1 740	„
Laufrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	1 034	„
Kurbelhalbmesser	360	„
gesamter Radstand	9 890	„
Radstand der gekuppelten Achsen	5 670	„
Verschiebbarkeit der Laufachsen beiderseits je	54	„
Gesamtgewicht	72,5	t
Reibungsgewicht	44,4	„
Höchstgeschwindigkeit bei 1 : 4,21 Übersetzung	70	km/h
desgl. bei 1 : 3,63 Übersetzung	80	„

Die Lokomotive ist imstande, auf Steigungen von 14 vT einen Personenzug von 300 t mit 40 km/h und einen Güterzug von 380 t mit 30 km/h, auf Steigungen von 25 vT einen Personenzug von 210 t mit 36 km/h und einen Güterzug von 220 t mit 30 km/h andauernd zu befördern. Außerdem vermag die Lokomotive als Verschublokomotive einen Zug von 300 t in einer Stunde 30 mal vom Stillstand bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h auf der wagrechten Strecke zu beschleunigen.

Von diesen Lokomotiven sind fünf bereits abgeliefert und auf der Strecke Innsbruck-Landeck im Betrieb. Der elektrische Teil wurde von der AEG-Union-Elektrizitäts-Gesellschaft in Wien (als Hauptlieferer der vollständigen Lokomotiven), der mechanische Teil von der Maschinenfabrik der Staatseisenbahn-Gesellschaft in Wien geliefert.

3. Für die Beförderung von Güterzügen wurden zwanzig Lokomotiven mit fünf gekuppelten Achsen bestellt. Die Lokomotiven, Abb. 15, bestehen aus einem Untergestell und dem daraufgesetzten Kasten mit zwei niedrigen Vorbauten. Von den fünf Achsen sind die beiden äußersten für eine Seitenverschiebung von je 33 mm eingerichtet, die mittleren sind fest und werden durch je einen federnd aufgehängten Motor von 330 PS Dauerleistung und rd. 465 PS Stundenleistung mittels einfachen, jedoch beiderseitig angebrachten Zahnradvorgeleges (1 : 6,13 Übersetzung) angetrieben. Im Lokomotivkasten sind zwei Ventilatoren für die Kühlung der Motoren und zwei Ölpumpen zur Kühlung des Transformators, die drei Vakuumpumpen für die Luftsaugebremse, sowie der Transformator selbst und die beiden Führerstände untergebracht. Der Transformator mit angebautem Stufenschalter und Fahrtrichtungswender ist für 850 kVA Dauerleistung konstruiert.

Die drei Triebmaschinen sind Einphasen-Reihenschlußkommutatormotoren, die Klemmenspannung und damit die Geschwindigkeit der Lokomotive wird mittels dreier Stufenschalter geregelt, deren Kontaktbürsten rein mechanisch auf die der gewünschten Fahrstellung entsprechende Spannungsstufe eingestellt werden. Die bei Straßenbahnen vorzüglich bewährte Aufhängungsart der Motoren ist für Lokomotiven, die mit keinen größeren Geschwindigkeiten als 50 km/h laufen, erfahrungsgemäß zulässig. Durch diese Anordnung wurden Bindwellen und Triebstangen vermieden.

Der Stromabnehmer hat den gleichen Bedingungen wie bei der 1 C + C 1-Lokomotive zu genügen. Der bei den E-Lokomotiven verwendete Stromabnehmer erfüllt diese Bedingungen dadurch, daß auf einem gemeinsamen Untergestell zwei Übergestelle mit besondern Gelenklagerungen und verschiedenen Abmessungen aufgebaut sind. Es ergibt sich, daß bei einer Fahrdrahthöhe von rd. 5100 mm über S.-O. beide Bügel zum Anliegen an den Fahrdraht kommen, bei den höheren Lagen nur der breite, bei den niederen Lagen nur der schmale Bügel allein. Das Senken des breiten Bügels erfolgt beim Einfahren in den Tunnel mit seiner niederen Fahrdrahthöhe vollkommen zwangläufig ohne Verwendung von gesteuerten Ventilen oder dergl.

Nachstehend die Hauptabmessungen, Gewichte und Betriebzahlen der Lokomotive:

Länge über Puffer gemessen	12 750	mm
größte Breite	3 100	„
Dachhöhe	3 800	„
Triebrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	1 350	„
Kurbelhalbmesser	300	„
gesamter Radstand	7 750	„
Verschiebbarkeit der 1. u. 5. Achse beiderseits je	33	„
Gesamt- und Reibungsgewicht	72,5	t
Gewicht des elektrischen Teiles	35,7	„
Gewicht des mechanischen Teiles	36,8	„
Höchstgeschwindigkeit	50	km/h.

Hochspannungsausrüstung: 1 Transformator für 850 kVA, 2 breite Scherenstromabnehmer für die freie Strecke und ein schmalerer Tunnelstromabnehmer, 1 Ölschalter mit Handantrieb und elektromagnetischem Auslöser, 3 Überstromrelais, 3 Stufenschalter für je 8 Spannungsstufen, somit 24 Steuerstufen mit 8 Dauerstufen, Fahrtrichtungswender.

Drucklufteinrichtung: 2 von der Achskurbel angetriebene Kolbenkompressoren, die außen am Rahmen angebracht sind, zur Erzeugung der Druckluft von 4 bis 6 at.

Für diese Lokomotiven wurde als Leistung verlangt:

Im Personen- und Schnellzugdienst:

auf 26,4 vT Steigung	200 t	mit	34 km/h
„ 31,4 „ „	160 t	„	34 „

Im Güterzugdienst:

auf 0 vH Steigung	800 t	mit	49 km/h
„ 10 „ „	800 t	„	31 „
„ 15 „ „	580 t	„	30 „
„ 26,4 „ „	340 t	„	30 „
„ 31,4 „ „	290 t	„	30 „



Abb. 15 E Güterzuglokomotive: Österr. Siemens-Schuckert-Werke und Lokomotivfabrik Krauß & Co., Linz.

Der elektrische Teil der Lokomotiven, von denen die erste vor kurzem abgeliefert worden ist, wurde von den Österreichischen Siemens-Schuckert-Werken in Wien als Hauptlieferern, der mechanische Teil von der Lokomotivfabrik Krauß & Co. in Linz geliefert.

4. Zwei Probelokomotiven der Bauart 1 D 1 und E mit Phasenumformern. Die beiden Lokomotiven unterscheiden sich voneinander nur im mechanischen Teil, ihre elektrische Ausrüstung ist vollkommen gleich. Der einphasige Wechselstrom von 15 000 V und 16⅔ Per./s wird in einem umlaufenden Phasenumformer in dreiphasigen Wechselstrom niedriger Spannung von derselben Periodenzahl umgewandelt. Die



Abb. 16. Elektrische Zugförderanlage und Betriebswerkstätte Innsbruck-Westbahnhof.

beiden Motoren übertragen das Drehmoment mittels eines Gelenkdreieckes nach Bauart Kandó unmittelbar auf die gekuppelten Triebachsen.

Nachstehend die Hauptabmessungen und sonstigen wichtigen Daten:

	E	1 D 1	
Länge über Puffer	10 800	13 000	mm
Triebrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	1 070	1 614	„
Laufrad-Dmr. bei 70 mm Radreifendicke	—	1 034	„
Kurbelhalbmesser	300	300	„
Gesamtradstand	6 500	10 130	„
Radstand der gekuppelten Achsen	6 500	5 070	„
Verschiebbarkeit der 1ten und 5ten Achse beiderseits je	35	55	„
Verschiebbarkeit der mittleren Achse beiderseits je	25	—	„
Verschiebbarkeit der 2ten und 3ten Triebachse	—	25	„
Gesamtgewicht	73,25	81,45	t
Reibungsgewicht	73,25	59,00	„
Höchstgeschwindigkeit	67	100	km/h
Handbremse: Zahl der gebremsten Achsen	5	4	

Selbsttätige Vakuumschnellbremse Bauart Hardy.

Hochspannungsausrüstung: 1 Phasenumformer, 2 Scherenstromabnehmer, 1 Ölschalter mit mechanischer Ausrüstung, 1 Fahrtwender, 1 Phasenschalter und 1 Kaskadenschalter, durch die die verschiedenen Schaltungen zwischen den Motoren und zwischen Umformer und Motoren ausgeführt werden. Die Lokomotiven erhalten u. a. auch einen selbsttätigen, einstellbaren cos φ-Regler, Einrichtung für Stromrückgewinnfahrt, die 1 D 1-Lokomotive einen elektrisch geheizten Dampfkessel für die Zugheizung.

Der mechanische Teil dieser Lokomotiven wird von der Wiener Lokomotivfabriks-A.-G. in Wien als Hauptlieferer, der elektrische Teil von Ganz & Co. in Budapest geliefert.

5. Vier Schnellzuglokomotiven Bart 1 A A A A 1 wurden zur Beförderung schwerer Schnell- und Personenzüge auf Strecken mit Steigungen bis zu 15 vT bei den Österreichischen Siemens-Schuckert-Werken als Hauptlieferern und Lieferer des elektrischen Teiles und der Lokomotivfabrik Krauß & Co. in Linz als Lieferer des mechanischen Teiles in Auftrag gegeben. Die Lokomotive wird imstande sein, einen Schnellzug mit einer Anhängelast von 550 t auf 10 vT Steigung mit 50 km/h Geschwindigkeit und auf 15 vT Steigung mit 47 km/h zu fahren. Auf der Wagrechten wird sie einen Schnellzug von 320 t mit 85 km/h und auf 5 vT Steigung einen solchen Zug von 500 t mit 60 km/h befördern können. Ihre Höchstgeschwindigkeit beträgt 85 km/h.

Die Lokomotive erhält vier Triebachsen und an den beiden Enden je eine Laufachse. Zur Erzielung eines ruhigen und weichen Ganges werden die Laufachsen je mit der benachbarten Triebachse zu einem Drehgestell verbunden; die beiden mittleren Triebachsen erhalten ein Seitenspiel von ungefähr 26 mm. Die Drehpunkte der beiden Drehgestelle sind fest, wodurch eine große geführte Länge der Lokomotive (8800 mm) erreicht wird. Diese Lokomotive hat nach dem Vorgesagten keinen festen Radstand. Die vier Triebachsen werden je von einem Triebmotor mit senkrechter Welle, der mit dem Rahmen fest verbunden ist, über ein Kegelradgetriebe, eine Hohlwelle und eine Gelenkkuppelung angetrieben. Diese Gelenkkuppelung ist nahezu in der Mitte der Achse angeordnet, so daß das Drehmoment auf die beiden Räder einer Achse infolge der Elastizität der Achshälften sanft und gleichmäßig übertragen wird.

Die Lokomotive erhält vier Einphasen-Reihenschlußmotoren von je 330 PS Dauerleistung und rd. 465 PS Stundenleistung. Der Transformator wird in der Mitte der Lokomotive eingebaut. Zwei an den Enden gelegene Führerstände werden eine gute Fernsicht gestatten.

Die gesamte Länge der Lokomotive über die Puffer beträgt 14 000 mm, der Gesamtradstand von Laufachse zu Laufachse 11 000 mm, der Radstand der mittleren Triebachsen 3300 mm, der Radstand der Drehgestelle (bestehend aus Laufachse und einer Triebachse) je 2200 mm, die geführte Länge (Entfernung von Drehzapfen zu Drehzapfen der Drehgestelle) 8800 mm, das Gewicht der Lokomotive 86 t, das Gewicht des mechanischen Teiles 44 t, das des elektrischen Teiles 42 t, der Triebachsdruck 14,5 t, der Laufachsdruck 14 t, der Triebrad-Durchmesser bei 50 mm Radreifendicke 1310 mm, der Laufrad-Durchmesser bei 50 mm Radreifendicke 994 mm, das Übersetzungsverhältnis der Zahnräder 1 : 3,8, die Stundenleistung der Lokomotive rd. 2000 PS.

Zwei Versuchslokomotiven mit der Achsfolge D und 25 km/h Höchstgeschwindigkeit sollen demnächst zur Bestellung gelangen.

Von der Erkenntnis ausgehend, daß eine gute, rasche und verhältnismäßig billige Durchführung der laufenden Instandhaltung der elektrischen Lokomotiven, sowie deren gute Ausnützung, d. h. die Erzielung möglichst hoher jährlicher Lokomotivkilometer-Leistungen nur bei zweckentsprechender Ausgestaltung und guter Ausrüstung der

Zugförderanlagen und Betriebswerkstätten

möglich ist, haben die österreichischen Bundesbahnen diesen Anlagen von Haus aus ein größeres Augenmerk zugewendet, als es vielleicht bei andern Umwandlungen von Dampfbahnen auf elektrischen Betrieb manchmal der Fall war. Wenn hierdurch die Kosten der elektrischen Zugförder- und Werkstättenanlagen auch eine recht bedeutende Höhe erreichen, so ist doch mit Bestimmtheit anzunehmen, daß sich diese Anlagen im Betriebe bald bezahlt machen werden.

Was die Strecken westlich von Innsbruck — auf die ich mich in meinen Ausführungen beschränke — betrifft, so ist der Bau zweier Zugförderanlagen, und zwar in Innsbruck-Westbahnhof und in Bludenz, notwendig. Für die Wahl des Ortes dieser Anlagen war der Umstand maßgebend, daß im künftigen elektrischen Betriebe mit den für den bisherigen Dampfbetrieb schon unzulänglichen Zugförderanlagen in Landeck und Feldkirch keineswegs das Auslangen gefunden werden könnte. Hierbei kam noch der Umstand in Betracht, daß selbst ein Ausbau dieser alten Anlagen kostspielig und nur mit schwerer Beeinträchtigung des Betriebes durchführbar gewesen wäre und letzten Endes doch zu keiner befriedigenden Lösung geführt hätte. Für die Verlegung einer der Zugförderanlagen nach Innsbruck sprach unter anderm auch der Umstand, daß die von Innsbruck ausgehende, elektrisch betriebene Mittenwaldbahn eine elektrische

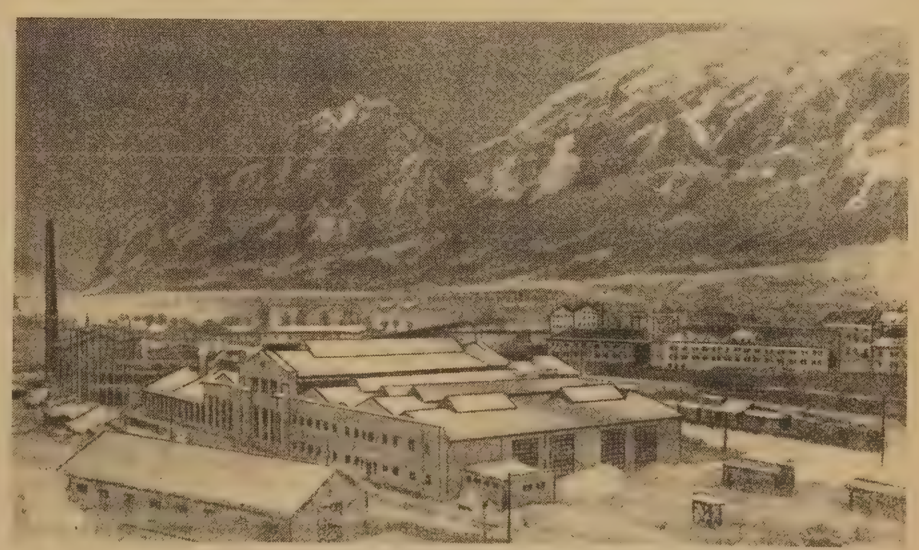


Abb. 17. Gesamtansicht der elektrischen Zugförderungsanlage und Betriebswerkstätte Innsbruck Westbahnhof.

Zugförderanlage — wenn auch bescheidenen Umfanges — erfordert, die im Rahmen einer der für die Arlbergstrecke zu errichtenden großen Anlage untergebracht werden kann.

Mit der Wahl von Innsbruck-Westbahnhof als Ort der einen Zugförderanlage war aus betriebstechnischen Gründen der Ort der andern Anlage mit Bludenz sozusagen gegeben. Der Zugförderdienst wird im großen ganzen derart eingerichtet sein, daß Innsbruck den Schnell-, Personen- und Güterzugdienst bis Landeck, Bludenz hingegen diesen Dienst von Bludenz bis Landeck und späterhin von Bludenz bis Bregenz oder Buchs übernehmen soll.

Bei der Anordnung der Zugförderanlagen wurde von dem Grundsatz ausgegangen, daß bei der Einstellung in den Schuppen sowie bei der Ausfahrt aus ihm tunlichst wenig Verschiebungen notwendig sein sollen. Aus diesem Grunde wurden Lokomotivschuppen mit rechteckigem Grundriß gewählt, die von beiden Seiten befahren werden können, damit bei örtlichen Störungen nicht die ganze Anlage stillgelegt wird.

Die Lokomotivschuppen sind fünfschiffig und enthalten je sechs Gleise, durchwegs mit je 60 m langen Arbeitsgruben. Für ausreichende Helligkeit ist durch große Fenster und durch fünf große First- und mehrere kleinere Zwischenoberlichte gesorgt.

Um der für einen geordneten und wirtschaftlichen elektrischen Betrieb ganz besonders wichtigen Instandhaltung der Lokomotiven vollauf Genüge leisten zu können, wird in Innsbruck-Westbahnhof und in Bludenz den Zugförderanlagen je eine Nebenwerkstätte angegliedert, in der alle im regelmäßigen Dienste vorkommenden laufenden Instandhaltungsarbeiten an den elektrischen Lokomotiven ausgeführt werden sollen. Im ersten Ausbau werden die Werkstätten eine fünfschiffige Montierungshalle aufweisen mit vier Gleisen für je zwei Lokomotivstände von 25 m Länge, so zwar, daß unter Abrechnung von zwei für den Ausbau notwendigen Arbeitständen fünf Lokomotiven bequem eingestellt werden können. Die Montierungshalle wird von einem elektrisch angetriebenen Kran für 40 t Tragfähigkeit mit zwei 25 t-Laufkatzen bestrichen. Für die Instandsetzung der elektrischen Einrichtungen wird von der Halle ein eigener Raum abgetrennt, der einen besondern Laufkran von 15 t Tragfähigkeit besitzt, der auch den angrenzenden Lagerraum bestreicht. Die Halle enthält außerdem eine die vier Gleise in der Mitte überquerende Laufkatze von 10 t Tragfähigkeit, eine zweiteilige nach Wahl kuppelbare Räder-Versenkvorrichtung, auf der auch ganze Drehgestelle bis 4,5 m Gesamtlänge ausgebaut werden können, und alle sonst erforderlichen, weitgehenden Anforderungen entsprechenden Betriebseinrichtungen.

Die Zugförder- und Werkstättenanlage Innsbruck-Westbahnhof, Abb. 16, nähert sich der Vollendung; der Lokomotivschuppen wird bereits benutzt, die Gesamtanlage, die auch eine Kesselanlage für die Heizung der ausgedehnten Räumlichkeiten sowie eine Umformeranlage für die Erzeugung der für den Werkstättenbetrieb erforderlichen Energie enthält, wird in Bälde in Betrieb genommen werden können.

Wenn im Rahmen dieses Aufsatzes auch nur ein Teil der für die elektrische Zugförderung auf den österreichischen Bundesbahnen in den letzten Jahren geschaffenen Anlagen und Einrichtungen kurz beschrieben werden konnte, so dürfte doch ersichtlich sein, daß es Österreichs Ingenieuren und Österreichs Industrie gelungen ist, unter oft recht widrigen Verhältnissen ein gewaltiges Stück Arbeit zu leisten. Auf der Strecke Innsbruck-Landeck ist die elektrische Zugförderung bereits im Gange, die Arlbergstrecke Landeck-Bludenz, sowie die Salzkammergutlinie werden aller Voraussicht nach binnen Jahresfrist elektrisch betrieben, und damit werden 243 km Dampfbahnen auf die neue Betriebsform übergeführt sein. Möge der weiteren Entwicklung der Elektrisierung der österreichischen Bundesbahnen ein guter Stern leuchten! [A 129]

Statistisches, Wirtschaftliches und Gesetzliches über den Ausbau der österreichischen Wasserkräfte.

Von Dozent Ingenieur Karl Naehr, Wien.

Brennstoff- und Energiebedarf Österreichs. — Ersatz durch Wasserkräfte. — Bautätigkeit der letzten Jahre. — Die wichtigsten Unternehmungen. Die Geldbeschaffung unter dem Währungsverfall. — Einfluß der Stabilisierung. — Wettbewerb der Wärmekraftwerke. — Verhalten des Auslandkapitals. — Gesetzliche Begünstigungen zur Beschaffung des Anlagekapitals. — Erweiterung des Rahmens der Förderungsgesetze.

Bei der Behandlung jedes mit der Energiewirtschaft Österreichs zusammenhängenden Gegenstandes ist die Frage des Kohlenvorkommens und -verbrauches begreiflicherweise nicht zu umgehen. Im vormaligen Österreich wurden jährlich — Steinkohlen und Braunkohlen zusammengenommen — rd. 45 Mill. t gefördert. Mit dem Friedensvertrage von St. Germain sind Österreich so gut wie alle Gebiete mit hochwertigem Brennstoff genommen worden, und nur Minderwertiges — und auch das nur in geringen Mengen — ist geblieben. Die Förderung ist damit auf 2,5 bis 3 Mill. t gesunken.

Der Bedarf des heutigen Österreichs an solchen Kohlen kann mit 15 bis 16 Mill. t angenommen werden unter der Voraussetzung, daß alle bestehenden Erzeugungsstätten im vollen Betriebe sind. Das ist heute bekanntlich nicht der Fall. Im Jahre 1922 sind wenig über 9 Mill. t Kohlen verbraucht worden. Die genaue Zahl für das Jahr 1923 liegt noch nicht vor. Bei der Beurteilung dieser Mengen darf nicht vergessen werden, daß die Förderung von 2 bis 3 Mill. t deutsch-österreichischen Brennstoffes einen ausgesprochenen Raubbau bedeutet, der nach der Meinung der Fachleute eine Erschöpfung des Vorrates schon in 50, längstens aber in 100 Jahren zur Folge haben würde.

Deutsch-Österreich im Vollbetrieb mußte also auch bei einer so bedenklichen Nutzung des inländischen Brennstoffschatzes rd. 13 Mill. t Kohle[1]) alljährlich aus dem Auslande (Deutschland, Tschechoslowakei, Polen usw.) beziehen. Der in Gestalt von Auslandzoll, Kohlensteuer u. a. dem Auslande zu leistende Tribut beeinflußt natürlich die österreichische Handelsbilanz auf das ungünstigste. Die Höhe dieses Tributs ist einmal durch das zwingende Gleichnis aufgezeigt worden, daß Österreich zum Zwecke seiner Versorgung mit Kohlen das ganze Jahr hindurch jede Sekunde rd. 5,5 Goldkronen über die Grenze wirft[2]).

Das Mittel zur Ersparnis heißt nun Ersatz des Brennstoffes durch Wasserkräfte.

Man kann selbstverständlich nicht alles durch Wasserkraft ersetzen. Technologisch auf Dampfverbrauch angewiesene Industrien beispielsweise werden bei dem Ersparungsplan zum Teil oder gänzlich ausgeschaltet bleiben. Der Sparplan wird sich an die Verbrauchzahlen der wesentlichsten Verbrauchgruppen: Industrie und Gewerbe, Verkehrsmittel (Eisenbahnen und Schiffahrt), Gas- und Elektrizitätswerke und Hausbrand, halten müssen.

[1]) Sektionschef Ing. Rudolf Reich, „Die österreichischen Wasserkräfte" Pressekonferenz am 3. Februar 192?.

[2]) Direktor Ing. Friedrich Brock: „Kritische Betrachtungen über die zwei größten Fehlbeträge in der Handelsbilanz"; „Die Wasserwirtschaft" (1923) Heft 12 und 13.

Durchschnittlich können diese Verbrauchzahlen in Hundertteilen des Vollbedarfes von 16 Mill. t mit

41 vH für Industrie und Gewerbe,
30 „ „ Verkehrsmittel,
13 „ „ Gas- und Elektrizitätswerke und
16 „ „ Hausbrand

angenommen werden.

Eingehende Untersuchungen über den möglichen Ersatz des Brennstoffes durch Wasserkraft-Energie haben nun zu dem Ergebnis geführt, daß bei teilweiser Betriebsumstellung der genannten Gruppen, mit aller Vorsicht geschätzt, fürs erste etwa 35 bis 45 vH des Brennstoffverbrauches, mindestens also rd. 4,5 Mill. t Kohle durch den Ausbau österreichischer Wasserkräfte ersetzt werden könnten. Dem entspräche ein Wasserkraftausbau von etwa 900 000 PS mittlerer Jahresleistung.

Die Bedeutung einer solchen Umstellung für die Besserung der österreichischen Handelsbilanz erhellt aus dem nach dem heutigen Kohlenpreis berechneten Betrag von etwa 3 Billionen österr. Papierkronen, das sind rd. 200 Millionen österr. Goldkronen, um den der jährliche Tribut an das Ausland sich verringern würde, und aus dem Vergleich dieser Zahlen mit dem Fehlbetrag der österreichischen Handelsbilanz vom Jahre 1922, der sich mit rd. 544 Millionen österr. Goldkronen ergeben hat.

Deutsch-Österreich verfügt über etwa 2,7 Mill. PS ausbauwürdiger Wasserkräfte. Darunter sind, wieder vorsichtig geschätzt, rd. 1,7 Mill. PS sogenannter Großwasserkräfte (mindestens 1000 PS mittlerer Jahresleistung). Die für das erste Ausbauziel erforderlichen 900 000 PS sind daher weit überdeckt. Zur Erreichung dieses Zieles wird ein Zeitraum von 15 Jahren als angemessen erachtet, entsprechend der Dauer der einzelnen Baufristen, der notwendigen Umstellungen und der natürlichen Entwicklung des Bedarfes.

Österreich müßte also, um das Ausbauprogramm im vorgenannten Zeit- und Leistungsrahmen zu erfüllen, jährlich Wasserkraftwerke mit insgesamt 60 000 PS dem Ausbau zuführen. Die für Österreich bedeutende Größe des Bauvorhabens ist daraus zu ermessen, daß man bei den heutigen Materialpreisen und Löhnen durchschnittlich mit Ausbaukosten von 18 Mill. österr. Papierkronen (1250 Goldkronen) für 1 PS (einschließlich Fernleitung und sonstiger Einrichtungen) rechnen muß. Sie ist auch daran zu erkennen, daß die Schweiz für die nächste Bauperiode jährlich 60 000 PS, Bayern 55 000 PS (beides mittlere Jahresleistungen) im Programm hat.

Bei Kriegsbeginn waren im Gebiete des heutigen Österreich ungefähr 175 000 PS ausgebaut, Großwasser-

kräfte und Kleinwasserkräfte zusammengenommen. Der Leistung nach sind nun *ebensoviel Großwasserkräfte allein in den Jahren 1921 und 1922* in Deutsch-Österreich mit ausschließlich im Inland aufgebrachten Geldmitteln in Angriff genommen und zum Teil fertiggestellt worden, und zwar:

im Jahre	1921	95 000 PS,	wozu
„ „	1922	59 000 „	und
„ „	1923	32 000 „	kamen, also insgesamt Werke
mit		186 000 PS	(Jahresmittelleistung)[1]).

Der Vollendungszustand ist im Laufe dieser drei Jahre von 10 vH über 30 vH auf 50 vH gestiegen. Die Frucht einer bloß dreijährigen Tätigkeit ist demnach die Betriebsfertigkeit von rd. 100 000 PS.

Wird jedoch berücksichtigt, daß gerade die hinsichtlich der Leistung ausgiebigsten Werke, die natürlich einer längeren Bauzeit bedürfen als die kleineren, bereits fertiggestellten, in der Mehrheit im Jahre 1924 und 1925 in Betrieb kommen, so wird sich der Hundertsatz des Vollendungszustandes im Jahre 1924 und 1925 wesentlich heben. Vielleicht schon im Jahre 1924, spätestens aber 1925 wird derart die Bauleistung das vorgefaßte Ziel erreicht haben, möglicherweise sogar darüber hinausgegangen sein.

Wie es mit den Bauleistungen der dann kommenden Jahre bestellt sein wird, ist ausschließlich eine *Geldfrage*, ein Kreditproblem.

Erschwert wird die Lösung dieses Problems jedenfalls durch die leidige Tatsache, daß in Deutsch-Österreich die *Schwerpunkte der Wasserkräfte abseits von den Schwerpunkten des Energiebedarfes* liegen: erstere sind im großen ganzen im Westen, letztere im Osten Österreichs. Die günstigsten Wasserkräfte finden sich, wenn man von der Steiermark absieht, dort, wo die industrieärmsten Teile unsres Staates sind und umgekehrt. Wien hatte im Jahre 1922 rd. 36 vH des gesamten Jahreskohlenverbrauches Österreichs aufzuweisen; auf das Land Niederösterreich entfielen 15 vH und auf die westlichen Länder zusammengenommen ebenfalls 15 vH; die restlichen 34 vH kamen dem Lande Steiermark zu.

Die Energiearmut des österreichischen Ostens ist mit einer gewissen Einschränkung zu verstehen. Die Nutzung der Donauwasserkraft könnte darin Wandel schaffen. Die für einen derartigen Ausbau erforderlichen Beträge im Zusammenhang mit einer Reihe von zurzeit noch ungelösten Fragen (Beeinflussung der Schiffahrt, Stellungnahme der Uferstaaten des nach dem Friedensvertrag auch in der österreichischen Strecke zu einem internationalen Gewässer gewordenen Stromes usf.) dürften jedoch alle auf eine Donaukraftnutzung abzielenden Wünsche und Versuche noch auf lange Zeit hinaus aussichtslos machen.

Die Tatsache der ungünstigen Verteilung der Wasserkräfte wird bei weitem nicht mehr die heutige Rolle spielen, wenn einmal die sogenannte *Reichssammelschiene* besteht. Einige Ansätze zu einer solchen Energiekuppelung sind vorhanden (Fernleitungsbauten in Salzburg, Oberösterreich und Niederösterreich).

An den angeführten Bauleistungen haben in der Hauptsache teil die österreichischen Bundesbahnen, die gemischtwirtschaftlichen Wasserkraft-Aktiengesellschaften (Beteiligung von Gebietskörperschaften: Bund, Land, Gemeinden), wie die Wasserkraftwerke-A.-G. in Wien (WAG), die Oberösterreichische Wasserkraft- und Elektrizitäts-A.-G. (OWEAG), die Steirische Wasserkraft- und Elektrizitäts-A.-G. (StEWEAG), die Niederösterreichische Elektrizitätswirtschafts-A.-G. (NEWAG), die Kärtner Wasserkraftwerke-A.-G. (KAEWAG), die Salzburger Aktiengesellschaft für Elektrizitätswirtschaft (SAFE), die Vorarlberger Landes-Elektrizitäts-A.-G., ferner Aktiengesellschaften privatwirtschaftlicher Natur, wie z. B. die Elektrizitätswerke Stern & Hafferl A.-G., alles ausgesprochene Stromlieferungs-Unternehmungen; dann einige größere Stadtgemeinden, wie Salzburg, Villach u. a., und schließlich — allerdings in geringer Zahl — Industrieunternehmungen mit Anlagen für den Eigenbedarf[2]).

Die Elektrifizierung der Bundesbahnen wird in diesem Heft von berufener Seite erörtert und kann daher hier außer Betracht bleiben.

Bei allen größeren Wasserkraftbauten gab es zeitweiligen Geldmangel und aus diesem Grunde mehr oder minder starke Verzögerungen. Der Stand des Kreditproblems in der Zeit nach dem Umsturz (November 1918 bis fast zum Ende 1920) läßt sich mit den Worten „*Hoffnung auf die Hilfe des Auslandkapitals*“ kennzeichnen.

Bei aller Schwarzseherei war in der Zeit zwischen Ende 1918 bis Ausgang 1919 nicht die Entwicklung vorauszusehen, die die österreichische Staats-, Finanz- und Volkswirtschaft bis zum Höhepunkte der Inflation im September 1922 und von da wieder bis zur Stabilisierung der Krone genommen hat. Man hat nicht im entferntesten an eine so weitgehende Entwertung des österreichischen Zahlungsmittels gedacht. Man glaubte vielmehr an eine schrittweise, verhältnismäßig rasche Besserung des Kursstandes der Krone bis zu einer Mindestgrenze von etwa $^1/_{10}$ des Friedenswertes.

Die unmittelbar nach dem Umsturz und noch bis 1919 und eingangs 1920 aufgestellten Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren naturgemäß von diesen Erwägungen stark beeinflußt. Sie ergaben wohl die Aussicht auf ganz ansehnliche Betriebserfolge, standen jedoch unter dem Banne des voraussichtlich baldigen Billigerwerdens der Kohle. Damit mußte der künftige Wettbewerb der Wärmekraftwerke gefährlich erscheinen, falls nicht eine äußerst kurzfristige Abschreibung (man hielt damals einen Zeitraum von 2 bis 4 Jahren für das zulässige Höchstmaß) platzgriffe. Jene Unternehmungen, die aus diesen Erwägungen die notwendige Folgerung zogen und schon damals (1919 und Anfang 1920) ein Werk innerhalb 1 bis 2 Jahren ausbauten, sind infolge der bekannten Entwicklung der Geldstandverhältnisse gut gefahren. Sie konnten in der kürzesten Zeit das Werk abschreiben und damit schon heute einem wirklich lohnenden Betrieb zuführen.

Es waren aber, wie gesagt, nur sehr wenige, die diesen Mut fanden und schließlich auch finden konnten, weil es sich in diesen Fällen um sehr rasch herstellbare Werke von verhältnismäßig geringer Leistungsfähigkeit handelte. Die übrigen Planungen blieben in der Zeit kurz nach dem Umsturz an der Überlegung haften, daß der Ausbau mit österreichischen Kronen aus den vorgenannten Gründen zu gewagt sei, hingegen mit zuverlässigem Vorteil mit Hilfe von Auslandkapital unternommen werden könne.

Es ließ sich damals in der Tat herausrechnen, daß eine österreichische Wasserkraft mit wertbeständigem Gelde (Dollars, Pfund oder Schweizer Franken) zufolge der außerordentlich großen Spannung, die zwischen der inneren Kaufkraft und dem Auslandwert der österreichischen Krone bestand, sich nahezu um die Hälfte des Friedenspreises, ja um noch weniger, herstellen lasse. Man sah darin mit Recht ein gutes Geschäft für die finanziell werktätige Mithilfe des Fremdkapitals und mochte nicht glauben, daß das Ausland das in einiger Zeit nicht auch erkennen werde. Es ist bekanntlich anders gekommen.

Mit dem Warten auf das Auslandkapital ist aber — wenn man von den Unternehmungen der Bundesbahnen absieht, die bekanntlich mit eigenen Kräften unternommen worden sind — die kostbare Zeit bis nahezu Ende 1920 verloren gegangen, so daß für die Entwicklung des Ausbaues der Wasserkräfte bis heute eigentlich nur die Jahre 1921, 1922 und 1923 ernstlich in Betracht kommen. Aus dem hier kurz geschilderten Sachverhalt läßt sich begreifen, daß das von verschiedenen Bauherrschaften, namentlich Gemeinden, anfänglich gehandhabte Geldbeschaffungsverfahren: Aufnahme von Kommunaldarlehen, Ausgabe von Obligationen, bei zunehmender Geldentwertung andern Verfahren Platz machen mußte.

Die notwendige Folge war dann die Gründung großer Gesellschaften „gemischtwirtschaftlicher Art“, von denen bereits eine Reihe aufgezählt worden ist. In der Hauptsache waren es Gründungen mit Einbringen von Sachwerten (Apportsgründungen), die — wie schon gesagt — in Gemeinschaft mit Gebietskörperschaften zustande kamen.

Es stellt sowohl der Aufnahmefähigkeit des österreichischen Geldmarktes als auch der umsichtigen und tatkräftigen Gebarung der österreichischen Geld- und Kreditinstitute ein hervorragendes Zeugnis aus, daß auf diese Weise Obligationen und Aktien im Werte von vielen Milliarden vom österreichischen Markte aufgenommen wurden und bis zum Sommer des Jahres 1923 fast ausschließlich nach diesem Geldbeschaffungsverfahren die Bautätigkeit, wenn auch mit zeitweiligen Einschränkungen, ununterbrochen in Gang gehalten werden konnte. Es ist aber nicht verwunderlich, wenn schließlich der Absatz der Wertpapiere, insbesondere der Obligationen, immer schwieriger wurde, und wenn zu allen erdenklichen Lockmitteln, wie: höherer Zinsfuß, Prämien, Wertbeständigkeit (Goldobligationen usw.) geschritten werden mußte.

Da hat vor verhältnismäßig kurzer Zeit endlich die Auslandhilfe eingesetzt und zu einer erfreulichen Wendung der Dinge beigetragen. So hat bei den Wasserkraftbauten der Oberösterreichischen Wasserkraft- und Elektrizitäts-A.-G. schweizerisches, bei denen der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts-A.-G. italienisches, der Vorarlberger Landes-Elektrizitäts-A.-G. schweizerisches und deutsches Kapital, der Stadt und des Landes Salzburg deutsches und amerikanisches und englisches Kapital helfend eingegriffen.

Eine wesentlich andre Art der Kapitalhilfe ist bei der Wasserkraftwerke-A.-G. (Wien) zu verzeichnen. Die an ihr ursprünglich mit 50 vH, jetzt mit Mehrheit beteiligte Gemeinde Wien hat die Gesellschaft durch die Erträgnisse einer Abgabe auf Gas und elektrischen Strom in die Lage versetzt, die restlichen Bauausgaben für das Ybbs- und das Wasserleitungs-Kraftwerk zu bestreiten.

Wo es zu einer Gesellschaftsbildung im vorgenannten Sinne nicht gekommen ist, wurden andre Verfahren der Finanzierung mit Erfolg in Anwendung gebracht. Die Stadt Villach beispielsweise errichtet ihr neues Arriachwerk mit Hilfe einer Stromvorauszahlung, die von einem Großabnehmer für eine Reihe von Jahren in Edelvaluta geleistet wird; die Stadt Salzburg hat für 50 Jahre die Betriebführung ihrer bestehenden Werke der Württembergischen Elektrizitäts-A.-G. (WEAG), Stuttgart, dagegen übergeben, daß die WEAG den Ausbau des Strubklammwerkes auf eigene Gefahr übernimmt. Vorteilhafte Vertrags-

[1]) Ministerialrat Ing. Emil *Gaertner*: „Fortschritte im Ausbau der österreichischen Großwasserkräfte 1921 bis 1923“. Neues Wiener Tagblatt, 11. und 18. Jänner 1924.

[2]) „Die Großwasserkraftverwertung nach dem Stande Ende Dezember 1923“, mitgeteilt vom österreichischen Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaftsamt (WEWA) — „Elektrotechnik und Maschinenbau“, Wien. (1924) Heft 2.

bedingungen sichern der Stadt nicht nur die notwendige Energie zu mäßigen Preisen, sondern auch den Heimfall des neuen Werkes. Unter der Mitwirkung der WEAG ist dann die Beteiligung ausländischen Kapitals am Werkbau der Stadt Salzburg und später auch des Landes Salzburg (Bärenkraftwerk a. d. Fuscher Ache) zustandegekommen.

In der leidigen Frage der Geldbeschaffung ist nicht zu verkennen, daß für die nächste Zeit, so insbesondere wenn alle größeren heute im Bau befindlichen Wasserkraftwerke unter Dach gebracht sein werden, zumindest eine Verlangsamung des bisherigen Schrittmaßes im Ausbau unsrer Wasserkräfte bevorsteht. Für diese der kühlen Überlegung erkenntlich werdende Tatsache sind eine Reihe von Gründen maßgebend: Es hat nicht den Anschein, als ob die Versteifung des Geldmarktes in absehbarer Zeit nachlassen und demzufolge eine wesentliche Ermäßigung des heute so überspannten Zinsfußes eintreten wird. Der Zinsenaufwand während der Bauführung (Interkalarien) muß daher bei dem Bau von Wasserkraftanlagen mit ihrer verhältnismäßig langen Bauzeit besonders schwer ins Gewicht fallen; schwerer jedenfalls als bei den weit schneller herstellbaren und in den Anlagekosten billigeren Wärmekraftwerken. Das allein schon wird dem Wettbewerb der Wärmekraftwerke gegenüber den Wasserkraftanlagen in der nächsten Zukunft zustatten kommen.

Wird nun noch die sinkende Richtung des Kohlenpreises berücksichtigt, weiter die mit Sicherheit fortschreitende Vervollkommnung des Dampfturbinenbaues und der Heiztechnik und schließlich auch die unbestreitbare Tatsache, daß die Anlagekosten bei Wärmekraftwerken dem jeweils sichergestellten Absatz besser angepaßt werden können (Verteilung der Anlagekosten auf einen längeren Zeitraum) als bei den Wasserkraftwerken, die von vornherein auf eine bestimmte, den Bedarf der nächsten Jahre meist weit übersteigende Ausbaugröße abgestellt sein müssen, so ist nicht zu verkennen, daß für die Wasserkraftbauten eine Zeit härteren Wettkampfes mit den Wärmekraftwerken kommen mag.

Die Freunde des Wasserkraftausbaues werden sich indes durch derartige Erwägungen nicht bange machen lassen. Sie werden nur gut tun, sich über jedes Für und Wider in aller Unbefangenheit klar zu werden. Die dabei zutage tretenden Gründe für eine mögliche Verlangsamung des Ausbautempos werden die Handhabe bieten müssen für die entsprechenden Gegenmaßnahmen.

Es wird da vor allem der Förderung der Industrie im Sinn ihrer Elektrifizierung eine größere Beachtung zu schenken sein, als es vielleicht bisher geschehen ist.

Gesetzliche und verwaltungstechnische Vorkehrungen werden dabei, wie schon bisher, eine wichtige Rolle zu spielen haben. Noch kurz vor dem Kriege war in Österreich auf dem Gebiete der Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaft eine staatliche Führung angestrebt worden. Nach dem Umsturz, im Herbst 1918, hat der Staat die Führerschaft den Ländern überlassen müssen: die Neigung zur ausschließlichen Landeswirtschaft schien sich durchsetzen zu wollen.

Auch dabei blieb es nicht, und die Energiewirtschaft Österreichs entwickelte sich — nicht zuletzt aus finanziellen Gründen — nach der Seite der gemischten Gesellschaftswirtschaft, neben der sich die ursprüngliche Privatwirtschaft nur vereinzelt zu behaupten vermochte.

Die kurz nach Kriegsende ernstlich unternommenen Versuche der Staatsregierung zur Zusammenfassung der Energiewirtschaft sind über Ansätze nicht hinausgekommen. Eine Entwicklungsstufe in diesem Bestreben war die Gründung des Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaftsamtes (WEWA), das eine einheitliche Behandlung der gesetzlichen und organisatorischen Maßnahmen und Einrichtungen auf dem Gebiete der Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaft sicherstellen sollte. Der Entwurf eines Elektrizitätsgesetzes (Wirtschaftsgesetzes) ist nicht angenommen worden; er ist an dem Widerstand der Länder gescheitert.

Heute ist wohl noch nicht die Zeit gekommen, sich ein endgültiges Urteil darüber zu bilden, ob der Widerstreit der Meinungen die Entwicklung unsrer Elektrizitätswirtschaft verzögert oder gefördert hat. Keinesfalls läßt sich bestreiten, daß mit dem Getrennt-Marschieren manches an Kraft — namentlich Kapitalkraft — verzettelt worden ist. Früher oder später wird es sich zu zeigen haben, ob alle in dieser Zeit der Unstimmigkeit in Angriff genommenen Energieerzeugungsstellen auch im richtigen Einklang mit dem Bedarf stehen, ob dabei nicht hie und da mehr die Wünsche als die harten Tatsachen die Väter der Gedanken gewesen sind. Sollte das in gewissen Fällen zutreffen, so wird zu einem späteren Zeitpunkt eine Berichtigung im Sinne einer allgemeinen Planwirtschaft unerläßlich sein.

Das Bundesverfassungsgesetz vom Oktober 1920, das von den für die allgemeine Energiewirtschaft in Deutsch-Österreich bisher geschaffenen Gesetzen als eines der ersten zu nennen ist, bedeutet einen Abbau der zusammenfassenden Staatsgewalt und den Übergang der Wasserkraft- und Elektrizitätswirtschaft in die Zuständigkeit der Länder. Es ist ein Rahmengesetz, nach dem dem Bund in den Zentralstellen bloß die Gesetzgebung über die Grundsätze vorbehalten bleibt, während im Rahmen dieses Gesetzes den Ländern die Ausführung und die sich darauf beziehende Gesetzgebung obliegt.

In dem Maße, wie sich die Hoffnung auf die Beteiligung ausländischen Kapitals am Ausbau österreichischer Wasserkräfte seinerzeit verflüchtigte, hatte sich immer dringender die Notwendigkeit herausgestellt, durch irgendwelche gesetzlich festgelegte Begünstigungen den für die Beteiligung des Inlandkapitals erforderlichen Anreiz zu schaffen.

Österreich hat es sich da mit Vorschlägen und Ausarbeitungen nicht leicht werden lassen und auch nach vorbildlichen Maßnahmen andrer Staaten Umschau gehalten. Bald aber ist man sich darüber klar geworden, daß, den eigenartigen österreichischen Verhältnissen entsprechend, nur der Weg von Steuer- und Gebührenbegünstigungen gangbar sei, in denen vor allem der Gedanke zum Ausdruck zu kommen hätte, die mit „schlechten" Kronen erbauten Anlagen so rasch steuerfrei abschreiben zu können, daß sie zu der nach menschlichem Ermessen eintretenden Zeit des besseren Kronenstandes im Wettbewerbe mit den völlig oder zum größten Teil abgeschriebenen Anlagen nicht erliegen müßten.

Das Gesetz vom Juli 1920: „Steuerbegünstigung aus Anlaß volkswirtschaftlich wichtiger Investitionen" (Gesetz über den verlorenen Bauaufwand), das als erstes Förderungsgesetz dieser Gedankenrichtung entstand, wurde durch die sogenannten Wasserkraft-Förderungsgesetze vom Juli 1921 und Februar 1922 (Novelle) überholt. Sie bestimmen die Steuerfreiheit für ⅗ der Darlehenszinsen (Obligationszinsen) und für Abschreibungen im Ausmaße von ¾ der Anlagekosten bezw. (Novelle) die volle Steuerfreiheit, alles mit gewissen zeitlichen Beschränkungen und unter gewissen Voraussetzungen.

Rückblickend kann heute mit gutem Recht gesagt werden, daß die Wasserkraft-Förderungsgesetze ihren Zweck, befruchtend auf die Bautätigkeit zu wirken, vollauf erfüllt haben. Bei aller Anerkennung des Geleisteten darf man sich aber auch nicht verhehlen, daß diese Gesetze an anregender Kraft bereits einiges eingebüßt haben. Die Gründe hierfür sind in der Natur der sich immer ändernden Verhältnisse zu suchen.

Um sie zu berücksichtigen, wird man, sei es in der Durchführung der alten, sei es durch die Schaffung von neuen Förderungsgesetzen, wahrscheinlich eine größere Freigebigkeit hinsichtlich gewisser Rücklagen beobachten müssen, insbesondere solcher, die notwendig sind, um die Wasserkraftanlagen den Fortschritten der Neuzeit anzupassen. Man wird auch alles vermeiden müssen, was künftig zur Schmälerung des Reingewinns, zur Schädigung der Rentabilitätsgrundsätze, führen und damit die zarte Pflanze der Hoffnung auf dauernde Auslandhilfe ebenso schnell wie gründlich zum Welken bringen könnte.

Eine Förderung der Industrie im Zusammenhange mit den Wasserkraft-Förderungsgesetzen wäre vor allem darin zu erblicken, daß deren Geltung nicht wie bisher auf Unternehmungen der Gebietskörperschaften (Bund, Länder, Gemeinden) und auf solche gemischtwirtschaftlicher Natur, alle mit dem Zwecke der Stromabgabe an Dritte, beschränkt bliebe, sondern auch auf Eigenanlagen ausgedehnt würde.

Die Einwände, die gegen eine solche Erweiterung der Förderungsgesetze mit dem Hinweis auf die mögliche Behinderung einer späteren Planwirtschaft geltend gemacht werden könnten, sind wohl nicht durchaus stichhaltig. Es ist nicht einzusehen, warum einer solchen späteren Einfügung in eine Planwirtschaft in technischen und wirtschaftlichen Belangen von Seiten einer an der Errichtung einer Eigenanlage interessierten Industrie Widerstand entgegengesetzt werden sollte, wenn sie anläßlich dieser späteren Einfügung ihren Energiebedarf nicht kostspieliger als vordem und unter Ersatz der gemachten Aufwendungen und unter Gewähr der Stetigkeit befriedigt findet.

Auch die Wärmekraftwerke, insoweit sie Wasserkraftwerken zur Spitzendeckung zu dienen haben, sollten der Begünstigung teilhaftig werden und ebenso, unter gewissen Voraussetzungen und Einschränkungen, die sogenannten Kleinwasserkraftwerke. Als außerordentlich bedeutungsvoll für die Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft Österreichs ist von den Bundesgesetzen noch zu nennen das Gesetz „betreffend elektrische Anlagen" (Elektrizitätswegegesetz) vom Juni 1922, das die mit dem vorerwähnten Bundesverfassungsgesetz verminderte Einflußnahme des Staates den Ländern gegenüber um einiges ausgleicht.

Das Bild, das sich dem rückschauenden, aber auch dem vorausschauenden Betrachter der Entwicklung unsrer Energiewirtschaft im allgemeinen und unsrer Wasserkraftwirtschaft im besonderen seit dem Zerfall Alt-Österreichs bietet, ist nach allem erfreulich. Man kann mit Zuversicht in die Zukunft blicken, einmal wegen der Leistungen, die das heutige Österreich schon hinter sich gebracht hat, zum andern, weil die Erkenntnis der Notwendigkeit des Ausbaues unserer Energiewirtschaft ebensowohl dank der vollbrachten Arbeit wie dank der tatkräftigen Propaganda der letzten Jahre sozusagen Gemeingut der Bundesbürger Österreichs geworden ist.

Man kann auch zuversichtlich sein, weil im aufgedrungenen Vergleich der Energienot erst jüngst vergangener Tage mit den so wesentlich gebesserten Verhältnissen der Gegenwart die Zielrichtigkeit des beschrittenen Weges und die Notwendigkeit und Nützlichkeit der dafür aufgebrachten und noch dafür aufzubringenden Opfer den meisten klar zum Bewußtsein gekommen ist.

[A 130]

Aus der österreichischen Kraftfahrzeugindustrie.

Von J. Zoller, Wien.

Entwicklung der Industrie — Kriegsfolgen — Beispiele unserer Konstruktionen.

Im Technischen Museum für Industrie und Gewerbe ist der Benzinkraftwagen ausgestellt, den Markus im Jahre 1875 in den Straßen Wiens vorführte. Markus war wohl erfindungsreich, aber geldarm; sein Wagenkind hätte also der Pflege reicher Leute bedurft, und es wäre der Stammvater der Kraftwagenindustrie der ganzen Welt geworden. Die Entwicklung verlief anders; keine der bestehenden Wagenfabriken führt ihren Ursprung auf dieses Gefährt zurück.

Von den bestehenden Fabriken ist die Österreichische Daimler-Motoren-A.-G. die älteste, entstanden im Jahre 1899 aus der Maschinenfabrik Brüder Fischer in Wiener-Neustadt; ihren jetzigen Umfang veranschaulicht die Fliegeraufnahme Abb. 1. Um 1900 haben die drei Brüder Gräf in ihrer Fahrradwerkstätte auch den Bau von Kraftwagen aufgenommen. Eine ernste großgewerbliche Erzeugung enstand erst in den Jahren 1905 bis 1908. In dieser Zeit wurden die Fabriken ausgebaut und neue Erzeugungsstätten (Puch, Froß, WAF, Österreichische Fiatwerke) errichtet. Im Krieg sind alle Erzeugungsstätten bedeutend vergrößert worden. Nach dem Krieg hat die Österreichische Waffenfabriks-Gesellschaft den Bau von Kraftwagen aufgenommen, den sie schon in den letzten Kriegsjahren vorbereitet hatte.

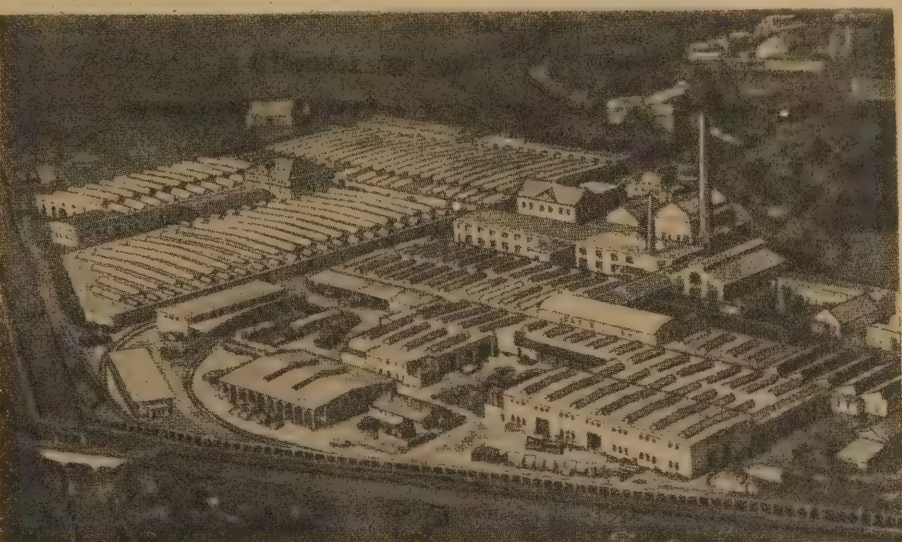
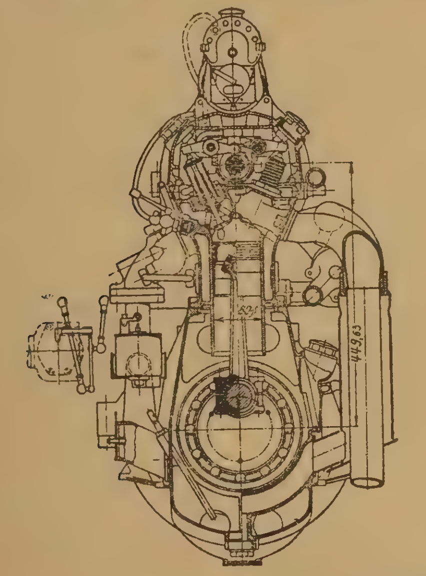


Abb. 1. Fliegeraufnahme der Werke der Österreichischen Daimler Motoren-A.-G. in Wiener Neustadt.

In allen Erzeugungsstätten könnten jährlich etwa 20 bis 25 000 Wagen hergestellt werden; die Leistungsfähigkeit ist aber jetzt kaum zur Hälfte ausgenützt. Da der Inlandmarkt verhältnismäßig wenig aufnimmt — im ganzen Bundesgebiet dürften etwa 15 000 Kraftwagen (Personen- und Lastwagen) verkehren —, ist die österreichische Kraftwagenindustrie auf Auslandabsatz angewiesen. Die österreichischen Wagen, erprobt auf schlechten und Bergstraßen, sind von solcher Güte, daß der Wettbewerb auf dem Weltmarkte gute Aussichten hätte. Leider liegt der Weltmarkt noch im Fieber. Einfuhrbeschränkungen oder Einfuhrsperren wechseln mit unüberwindbaren Schutzzöllen ab; auch der Währungsverfall in den verschiedenen Ländern vernebelt den Weltmarkt derart, daß eine planmäßige Erzeugung auf Sicht stets als Wagnis anzusehen ist. Solange keine Handelsverträge



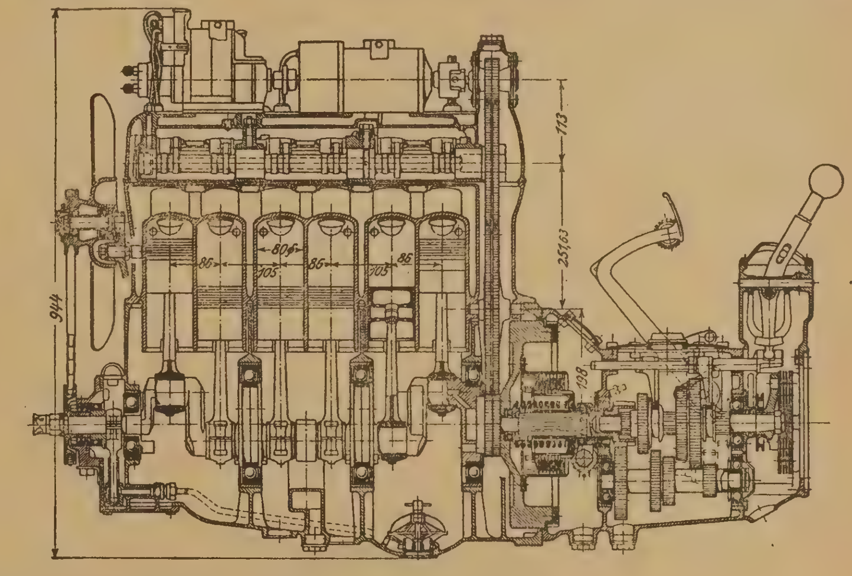


Abb. 2 und 3. Sechszylinder-Motor der Österreichischen Waffenfabriks-Gesellschaft, Steyr

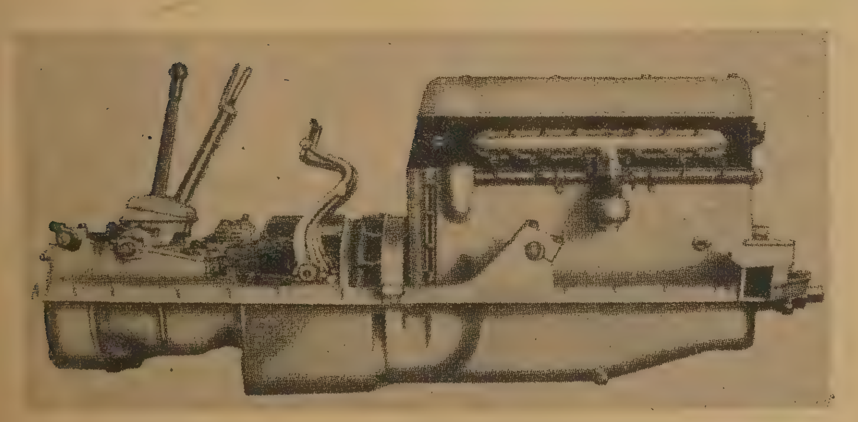


Abb. 4. Zusammenfassung des Sechszylindermotors, der Lamellenkupplung und des Getriebegehäuses; österreichische Daimler-Motoren-A.-G.

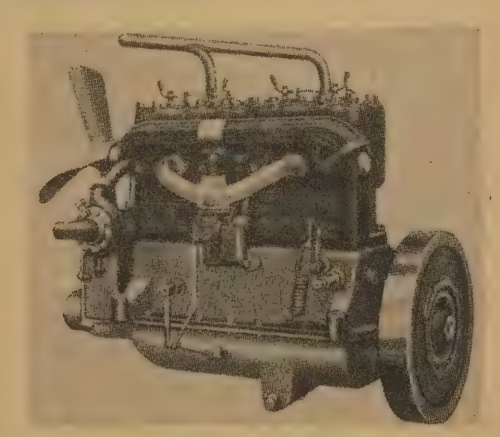


Abb. 5. Motor für 5 t-Lastwagen, von der Ventilseite gesehen; Austro-Fiat.

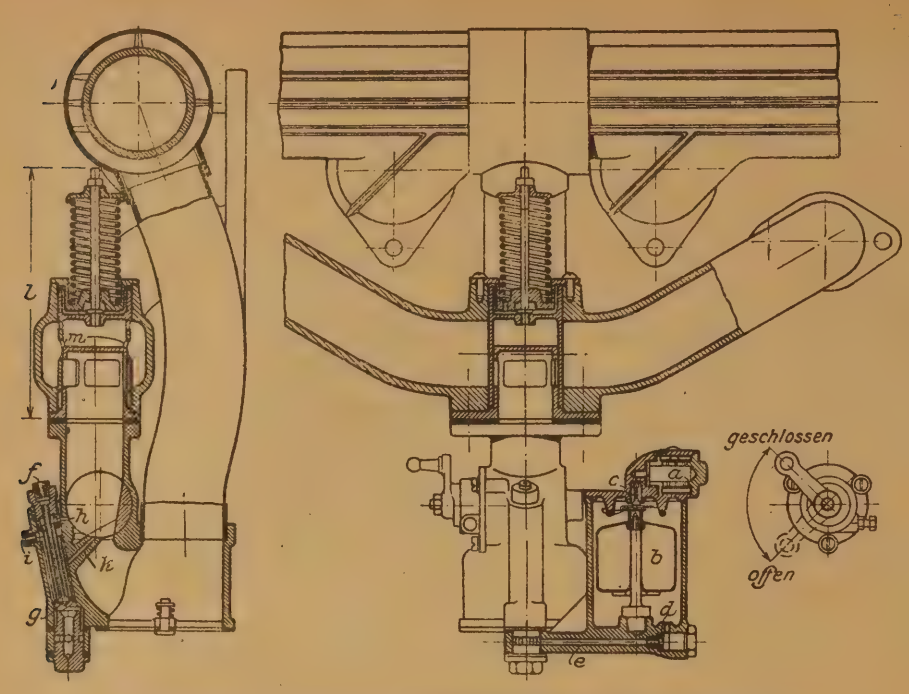


Abb. 6 und 7. Vergaser und Drosseleinrichtung für den Motor Abb. 5.

bestehen, ist die österreichische Indstrie verurteilt, in der Welt herumzu'ren und zu suchen, wo und in welchem Umfange sie ihre Wagen absetzen kann. Kein beneidenswerter Zustand!

Österreich hat jetzt ohne die Elektromobilfabriken neun größere Kraftwagenfabriken.

In Wien:
1) Österreichische Automobilfabriks-A.-G. vormals „Austro-Fiat",
2) A. Froß-Büssing,
3) Wiener Automobilfabriks-A.-G. vormals Gräf & Stift,
4) Österreichische Saurerwerke, Kraftfahrzeug-G. m. b. H.,
5) Wiener Automobilfabrik „WAF".

In Niederösterreich:
6) Automobilfabrik Perl A.-G., Liesing,
7) Österreichische Daimler-Motoren-A.-G., Wiener-Neustadt.

In Oberösterreich:
8) Österreichische Waffenfabriks-Gesellschaft, Steyr.

In Steiermark:
9) Puch-Werke A.-G., Graz.

Von den Fabriken erzeugen nur Personenwagen die Österreichische Daimler-Motoren-A.-G. und die Puchwerke, nur Lastwagen A. Froß-Büssing und die Österreichischen Saurer-Werke, Personen- und Lastwagen Österreichische Automobilfabriks-A.-G. vormals „Austro-Fiat", Wiener Automobilfabriks-A.-G. vormals Gräf & Stift, Wiener Automobilfabrik „WAF", Automobilfabrik Perl A.-G., Österreichische Waffenfabriks-Gesellschaft. Elektrische Last- und Zugwagen werden von der Perl-A.-G. und elektrische Lieferungs- und Lastwagen von der Allgemeinen Automobil-A.-G. gebaut.

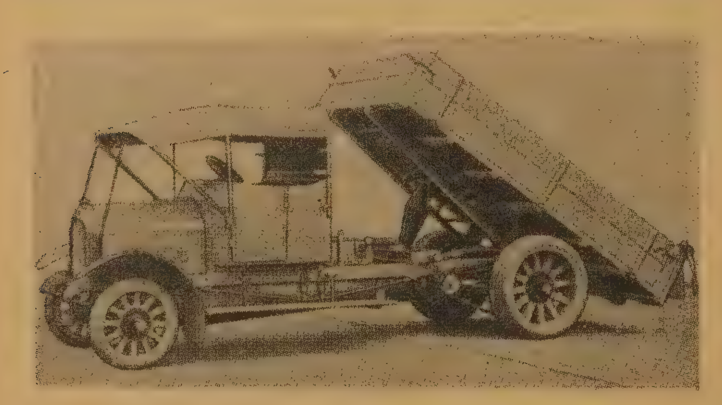


Abb. 8. Kippwagen der Österreichischen Saurerwerke.

Der Kleinwagenbau konnte sich in Österreich nicht so rasch wie im Ausland entwickeln, weil Anlage, Bau und Zustand unsrer Straßen größere Ansprüche an die Widerstandfähigkeit stellen.

Der Rahmen dieses Aufsatzes verbietet es, die Fülle technischer Einzelheiten auch nur im Auszug wiederzugeben. Die nun folgenden Abbildungen sind nur als Beispiele eigener Gestaltung anzusehen.

Abb. 2 und 3 geben im Längs- und Querschnitt den Sechszylinder-Motor der Österreichischen Waffenfabriks-Gesellschaft wieder, der für Personen- und Lastwagen verwendet wird. Ein Gußstück vereinigt die sechs Zylinder. Die aus drei Teilen zusammengeflanschte Kurbelwelle läuft in Kugellagern; die Innenringe ruhen auf den Flanschen, die Außenringe auf Lagerringen, die in das Kurbelgehäuse eingepreßt sind. Die Kurbelwelle mit den Kugellagern wird von der Schwungradseite aus in das Kurbelgehäuse hineingeschoben. Über die Einzelheiten und den Zusammenbau gibt die Zeichnung genügend Aufschluß.

Wie die zweckmäßige Gestaltung mit künstlerischer Formgebung vereinbart werden kann, soll Abb. 4 veranschaulichen. Die Österreichische Daimler-Motoren-A.-G. hat den AD Sechszylinder-Motor, die Lamellenkupplung und das Getriebegehäuse so zusammengefügt, daß scheinbar ein lebendiges Ganzes entsteht.

Abb. 5 veranschaulicht den Motor des 5 t-Lastwagens, gebaut von der Österreichischen Automobilfabrik-A.-G. vormals „Austro-Fiat". Er ist ein überdimensionierter Viertaktmotor mit selbsttätiger Drosseleinrichtung am Ansaugrohr, Abb. 6 und 7. Die paarweise zusammengegossenen Zylinder haben abnehmbare Deckel, damit die Aluminiumkolben und der Verbrennungsraum leichter gereinigt werden können. Abb. 6 und 7 stellen den Vergaser mit Vorwärmer und Unterdruckregler dar. Durch Brennstoffilter a und durch das vom Schwimmer b gesteuerte Nadelventil c gelangt der Brennstoff in das Schwimmergehäuse, sodann durch die Brennstoffdüse d und den Kanal e in den Düsenraum, der die Düsen für Leerlauf und Vollgas enthält. Im Lerlauf und bei geringer Belastung streicht die Luft durch die Düse f, der Brennstoff durch die Düse g; das Luft-Benzin-Gemisch tritt durch den Kanal h hinter dem Drehschieber in das Ansaugrohr. Bei Halb- und Vollgas gelangt der Brennstoff durch die Düse d in den äußeren

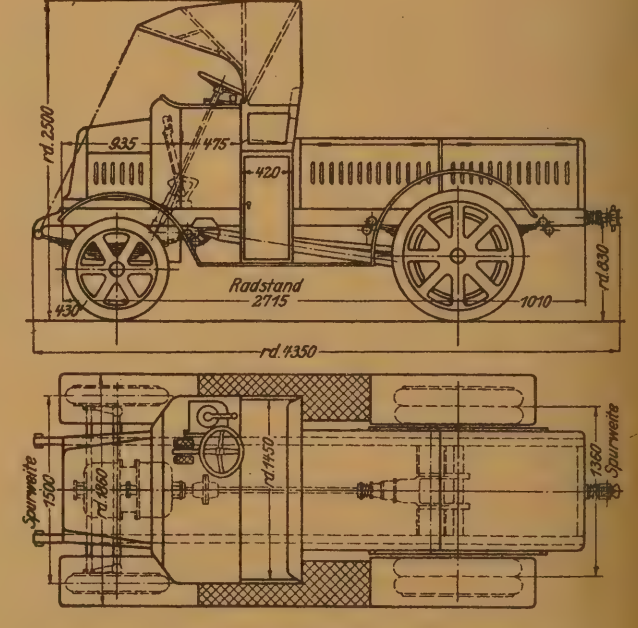


Abb. 10 und 11. Elektro-Zugwagen der Automobilfabrik Perl

Düsenraum und wird hier mit der durch die Düse i eintretenden Luft gemischt; das Luft-Benzin-Gemisch tritt durch die Bohrung k in das Ansaugrohr.

Der hinter dem Vergaser angeordnete Unterdruckregler l paßt mit dem federbelasteten Kolbenschieber und den Schlitzen m die Ansaugspannung der Belastung an; bei hohen Drehzahlen sind die Schlitze vollständig geöffnet, die Feder zusammengedrückt; im Leerlauf und bei kleineren Drehzahlen drosseln die zum Teil abgedeckten Schlitze die durchstömende Luft, wodurch die Verdichtung des Motors selbsttätig der Belastung und Drehzahl angepaßt wird. Die Federspannung des die Drossel beeinflussenden Fliehkraftreglers wird beim Schalten des Getriebes

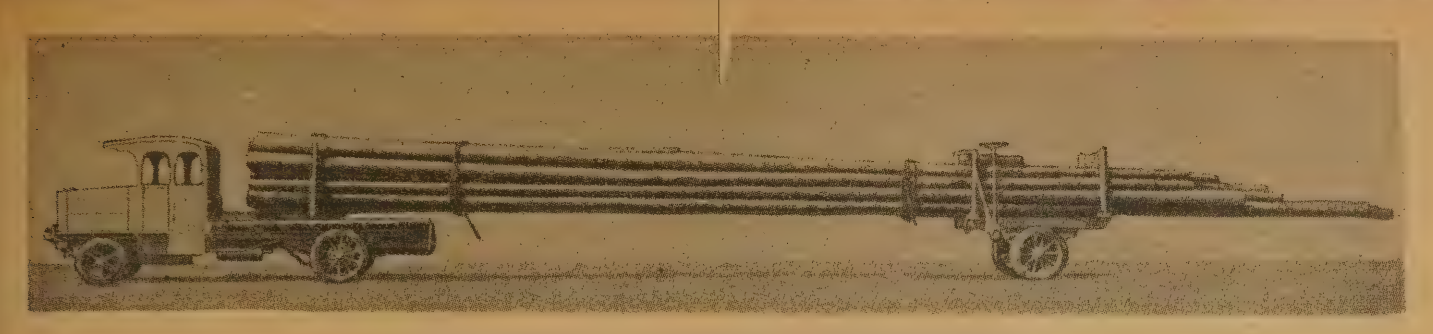


Abb. 9. Langholzzug von A. Froß-Büssing mit geschlossenem Führersitz.

derart geändert, daß der Motor wohl bei der ersten bis dritten Geschwindigkeit seine höchste Drehzahl von 1050 Uml./min erreichen, bei der vierten Geschwindigkeit jedoch 750 Uml./min nicht überschreiten kann.

Abb. 8 und 9 sind Beispiele aus dem Lastkraftwagenbau. Der Kipper stammt von den Österreichischen Saurerwerken, der für die Beförderung von Langholz bis 24 m Länge bestimmte Wagen von A. Froß-Büssing.

Abb. 10 und 11 stellen einen elektrischen Zugwagen der Perl-A.-G. dar. Merkmale: Zwei Elektromotoren von je 14 PS; Batterie in zwei Trögen zu 40 Zellen und 300 Ah Kapazität; Gewicht etwa 4800 kg; Fahrbereich rd. 80 km; Anhänger 5 bis 10 t Nutzlast.

Um den Zusammenbau von Fahrgestell und Wagenkasten inniger zu gestalten, was für die Reihenherstellung wichtig ist, haben fast alle Fabriken für ihren eigenen Bedarf Wagenbaustätten angekauft oder neue eingerichtet; sie reichen jedoch für die Gesamterzeugung nicht aus, weshalb auch noch eine selbständige Wagenbauindustrie besteht. Die österreichische Wagenbaukunst hat eine ruhmreiche Vergangenheit. Auserlesener Geschmack und technisch richtige Durchbildung machten die österreichischen Wagen weit über unsre Grenzen hinaus bekannt. Künstler und tüchtige Facharbeiter wirken hier mit Erfolg zusammen. Unter den ersten Vorkämpfern des österreichischen Kraftfahrwesens war ein Wagenbauer der verdienstreichste. Nicht nur mit begeisterndem Wort, auch mit opferreicher Tat setzte er sich für den Kraftwagen ein: Ludwig Lohner baute im heutigen Österreich die ersten Wagen.

Wer Gelegenheit finden wird, die österreichische Frühjahrsmesse zu besuchen, wird sie bereichert an technischen Erfahrungen und Kunsteindrücken verlassen. [A 133]

Die Entwicklung der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft.

Eine Studie.

Die Fortschritte der Technik, die im vergangenen Jahrhundert auf allen Gebieten des menschlichen Schaffens als das treibende Element in der Gesellschaftsentwicklung erkennbar sind, haben auch die Eisenindustrie der österreichischen Alpenländer vor neue Aufgaben gestellt, mit denen sie in ihrer Art fertig werden mußte. Die Lage der Erzvorkommen, die Handels- und Verkehrsverhältnisse und ein gutes Stück Überlieferung in den Arbeitsvorgängen hatten in den Alpenländern länger als anderwärts das Schicksal der Eisenwerke bestimmt. Schließlich aber wurden die Wirkungen der ins Große gehenden Verkehrs- und Erzeugungstechnik auch in den steirischen und kärntnerischen Alpentälern fühlbar. Mit dem Abreißen der Kriegsaufträge nach dem Jahre 1866 kam die wirtschaftliche Bedrängnis über die zahlreichen Gewerken und brachte sie zur Erkenntnis, daß die Erzeugung eines Gegenstandes, der sich auf dem Weltmarkt behaupten will, von höherer Warte aus geleitet werden müsse, als dies bisher in den Alpenländern üblich war. — So kam es im Jahre 1868 zur Bildung von fünf größeren Eisenwerkgesellschaften: Die Hüttenberger Eisenwerks-Gesellschaft vereinigte acht Unternehmungen mit elf selbständigen Betrieben, die Vordernberg-Köflacher Montan-Industrie-Gesellschaft zwei Unternehmungen mit sechs Betrieben, die Steirische Eisenindustrie-Gesellschaft erwarb vom k. k. Montan-Aerar und vom Grafen Hugo Henckel von Donnersmarck je einen Betrieb, in der St. Egidi- und Kindberger Eisen- und Stahl-Industrie-Gesellschaft gingen drei Familienbetriebe auf, und die k. k. priv. Neuberg-Mariazeller-Gewerkschaft übernahm vom k. k. Montan-Aerar die im Gebiete von Neuberg-Mariazell gelegenen Berg- und Hüttenwerke. — Die k. k. priv. Aktien-Gesellschaft der Innerberger Hauptgewerkschaft hatte schon ein Jahr früher vier Betriebe der alten k. k. priv. Innerberger Hauptgewerkschaft — darunter den Eisensteinbergbau Eisenerz — übernommen und zog in den folgenden Jahren noch fünf andre bedeutende Werke an sich, so daß sie schließlich weitaus die stärkste von diesen Gesellschaftsunternehmungen darstellte.

Bei allen diesen Unternehmungen sind indessen die erhofften wirtschaftlichen Vorteile ausgeblieben, denn die hierfür unerläßliche Voraussetzung, die Erneuerung der teilweise ins Unvordenkliche zurückreichenden Werkanlagen, konnte nicht geschaffen werden, weil es an Geld fehlte. So waren diese Gesellschaften nach zwölf Jahren wenig erfolgreicher wirtschaftlicher Tätigkeit ihrerseits reif, zu einem einheitlichen Großunternehmen zusammengefaßt zu werden.

Der Präsident einer französischen Gründungsbank, Eugen Bontoux, hatte als Generaldirektor der Südbahn die Verhältnisse der Eisenindustrie Österreich-Ungarns durch einige Zeit aus der Nähe beobachtet und sich für die weitere Entwicklung dieser Werke einen großzügigen Plan zurechtgelegt: die Vereinigung sämtlicher Eisenwerke Österreich-Ungarns in einer Gesellschaft. Die Ausführung dieses Planes ist durch den Zusammenbruch der französischen Bank gestört worden, indes blieb die im Jahre 1881 gegründete neue Unternehmung, die Österreichisch-Alpine Montangesellschaft, gewissermaßen als Bruchstück des groß angelegten Werkes bestehen. Sie stellte eine Verkörperung des Bontouxschen Gedankens im Kleinen dar: War es auch nicht gelungen, alle Eisenwerke Österreich-Ungarns zu vereinigen, so waren doch die großen alpenländischen Berg- und Hüttenunternehmungen unter einen Hut gebracht. Außer den früher genannten sechs Gesellschaften gehörten der neugegründeten Gesellschaft folgende kleinere Unternehmungen an: die Franz Ritter von Fridauschen Montanwerke, die k. k. priv. Eisen- und Stahl-Gewerkschaft zu Eibiswald und Krumbach, die Grazer Eisenwarenfabrik und die k. k. priv. Eisengießerei und Maschinenfabrik von J. Körösi in Andritz und Graz. Die neue Gesellschaft verfügte über 39 Werke mit einem ausgedehnten Wald- und Grundbesitz, der eine Fläche von ungefähr 170 664 ha bedeckte. Die Erzeugung der gesellschaftlichen Berg- und Hüttenwerke für das Jahr 1882 weist folgende Zahlen auf:

Torf	23 400 m³
Braunkohle	623 453 t
Erz	584 521 t
Roheisen und Gußware	173 546 t
Rohstahl	149 600 t
Fertige Ware	120 388 t

Die Forstverwaltungen der Gesellschaft erzeugten 1883

466 395 Fm Kohlholz
109 484 Fm Nutzholz
37 241 Rm Brennholz
und 5 570 335 hl Holzkohle.

Das Grundkapital der neuen Gesellschaft war mit 30 Millionen Gulden ö. W. festgesetzt und bestand aus 300 000 auf den Inhaber lautenden Aktien, die beinahe alle zur Erwerbung der von den älteren Gesellschaften übernommenen Anlagen und zum Ankauf einzelner Betriebe verwendet werden mußten. Da überdies bei Verschmelzung mit den früheren Gesellschaften sehr bedeutende Verbindlichkeiten übernommen wurden, stand schließlich das für die technische Ausgestaltung der Betriebe erforderliche Kapital nicht zur Verfügung, wodurch die weitere Entwicklung der Gesellschaft auf geraume Zeit schwer behindert worden ist.

Die neue Großunternehmung hatte die Aufgabe, „gleichartige Betriebe in den hierfür geeigneten Örtlichkeiten tunlichst zu konzentrieren, zwischen den einzelnen Werken eine der Lage und den Einrichtungen entsprechende Arbeitsteilung vorzunehmen und die Möglichkeit zu schaffen, überflüssige Anlagen käuflich an Dritte überlassen zu können". Dieses Ziel konnte aber nicht unmittelbar erreicht werden.

Der Zustand, in dem sich die Betriebe der vereinigten Unternehmungen befanden, und die große Schuldenlast, die durch

die Gründung auf die neue Gesellschaft übergegangen war, sind die inneren Ursachen der geringen Erfolge, die die Gesellschaft durch eine Reihe von Jahren aufzuweisen hatte. Die äußeren Umstände verschärften die Lage der Gesellschaft noch: Der mächtige Umschwung in der Hüttentechnik verlangte eine rasche Anpassung, der Wettbewerb ausgezeichnet geführter Unternehmungen in den Sudetenländern und in Ungarn war nahezu unwiderstehlich. Unter diesen Umständen hätte es zur Verwirklichung des Gründungsgedankens außerordentlicher Führer bedurft.

Als die zunächstliegende Aufgabe wurde die Auflassung der unwirtschaftlich arbeitenden Betriebe und die technische Ausgestaltung der Erfolg versprechenden Anlagen richtig erkannt. Die geldliche Lage der Gesellschaft hemmte aber die Durchführung so sehr, daß der Ausbau der vorteilhaft erscheinenden Betriebe zehn Jahre in Anspruch nahm und darüber der erste Teil der Aufgabe, die Auflassung minderwertiger Werke, fast in Vergessenheit geriet. Als entscheidender Umstand für den ersten Abschnitt in der Entwicklung der Gesellschaft kann der Übergang zur gesteigerten Erzeugung von Koksroheisen gelten. Die Zahl der bestehenden Kokshochöfen in Schwechat und Zeltweg wurde durch einen neuen, der im Jahre 1887 in Hieflau in Betrieb kam, vermehrt.

Mit der Umstellung des alpenländischen Hochofenbetriebes auf die Erzeugung des billigen Koksroheisens begann die innerösterreichische Eisenindustrie, die bisher ausschließlich Holzkohlenroheisen erzeugt und verarbeitet hatte, aus den Fortschritten der Hüttentechnik, die anderwärts längst mit bestem Erfolg Eingang gefunden hatten, auch ihrerseits Nutzen zu ziehen. Für die Gesellschaft war dieser Fortschritt um so wichtiger, als sich daraus für sie die Möglichkeit ergab, den ausgedehnten Forstbesitz abzustoßen und so in ihre Finanzverhältnisse Ordnung zu bringen. Der Entschluß, die Erzeugung von Holzkohlenroheisen einzuschränken, ließ den Wert des ausgedehnten Forstbesitzes der Gesellschaft, der bisher eine der Grundlagen des Betriebes gebildet hatte, in anderem Licht erscheinen; die Betriebe der Gesellschaft konnten ihn entbehren, — also war er auch der Gesellschaft feil; sie schlug im Jahre 1888 126 216 ha los und bezahlte mit dem Erlös einen Teil ihrer Schulden. Die Werke, für deren Ausgestaltung man sich entschieden hatte, waren Zeltweg, Prävali und Schwechat. In Zeltweg wurde die Schienenerzeugung vereinigt, Prävali war dazu bestimmt, hochwertige Bleche und Schiffbaumaterial, besonders für den Absatz nach dem Süden, zu erzeugen, und das Hochofenwerk Schwechat sollte durch Aufstellung von Puddel- und Schweißöfen und der erforderlichen Walzenstraßen in den Stand gesetzt werden, den Wettbewerb mit den sudetenländischen und ungarischen Werken aufzunehmen. Die Vereinigung der Betriebe wollte in diesem ersten Abschnitt der Entwicklung nicht recht gelingen. Ein paar längst stillgelegte Werke und Hämmer wurden verkauft, sonst war alles beim alten geblieben.

Der Bau der Erzbergbahn von Vordernberg nach Eisenerz, der in die Jahre 1889 bis 1891 fällt, leitete den zweiten Abschnitt der Entwicklung der Gesellschaft ein und gibt ihm ein in gewisser Hinsicht dem ersten entgegengesetztes Gepräge. Die neue Lösung der Frage der Erzbringung führte zur Schaffung einer neuen vollständigen Hüttenanlage in Donawitz, deren weitere Entwicklung die früher durchgeführten Neubauten als verfehlt erscheinen ließ. Die Neuanlage bestand aus einem Kokshochofen, einer Martinhütte, einem großen Blockwalzwerk mit einer Zaggel- und Grobeisenstrecke und dem umgestalteten Drahtwalzwerk, und kam Ende 1890 bzw. Anfang 1891 in Betrieb. Durch die Vollendung dieser Anlage war die Vereinigung der Betriebe erst angebahnt. Die Durchführung dieses grundlegenden Gedankens blieb dem dritten Abschnitt vorbehalten. In der Schaffung großer leistungsfähiger Anlagen muß hier die Vorbereitung für die angestrebte Leistung der Betriebsvereinigung erblickt werden. Diese Vorleistung kam in den ersten Jahren des dritten Abschnittes vom Jahre 1897 bis 1901 mit fast elementarer Gewalt zustande. Ein Hochofen in Donawitz mit einer Jahresleistung von 100 000 t, dazu eine neue Martinanlage, eine neue Grobstrecke und alle erdenklichen Nebenbetriebe, ein außerordentlich leistungsfähiges Blechwalzwerk, ein Universal-Blockwalzwerk und ein Stahlwerk in Zeltweg, eine neue Hochofenanlage für 35 bis 40 t Tagesleistung in Eisenerz, die Ausgestaltung des Kindberger Walzwerkes für die Massenerzeugung von Handelseisen, ein neues Martin- und Walzwerk in Neuberg zur Herstellung hochwertiger Stähle und wohldurchdachte Verbesserungen der Hilfsanlagen in den Betrieben zeigen, daß der Zug der Zeit, die Spezialisierung und Mechanisierung der Betriebe, auch die Gesellschaft endlich erfaßt hatte. Nun fielen die alten Betriebe der Reihe nach ab: Krems, Klagenfurt, Gußwerk-Mariazell, Lölling, Prävali, Brückel, Klein-Reifling, Heft, Liescha, Andritz, Graz, Schwechat, Pichling, Krieglach, Gmeingrube und Eibiswald. Seit mehr als 20 Jahren hatten diese Werke im Rahmen der Gesellschaft nicht leben und nicht sterben können. Vom Jahre 1904 an verfügte die Gesellschaft nur mehr über ein paar schlagfertige Betriebe, aus denen sie in den folgenden Jahren in der Massenerzeugung wahre Glanzleistungen herausgeholt hat.

In der Betriebsverteilung sind seither keinerlei Änderungen mehr eingetreten, der Betriebsumfang war entsprechend den jeweiligen Wirtschaftsverhältnissen außerordentlich schwankend. Die Höchstleistungen bei geordneten Wirtschaftsverhältnissen wurden im Jahre 1912 erreicht; es wurden erzeugt:

Kohle	1 206 800	t
Erze	1 874 400	„
Roheisen	583 500	„
Rohstahl	504 100	„
fertige Walzware	321 200	„

Infolge der hohen Anforderungen für Zwecke der Kriegführung wurden diese Höchstleistungen im Jahre 1916 mit nachstehenden Erzeugungsmengen fast durchweg überboten:

Kohle	1 117 200	t
Erze	2 366 900	„
Roheisen	637 800	„
Rohstahl	506 400	„
fertige Walzware	300 200	„

Die Störung der alteingelebten Wirtschaftsverhältnisse Mitteleuropas durch die neue Ordnung und allerlei ungesunde Strömungen in der Nachkriegszeit machten sich im Jahre 1919 mit voller Schärfe fühlbar und finden ihren Ausdruck in Erzeugungszahlen, wie sie nur in den Anfängen der Gesellschaft wiederzufinden sind:

Kohle	640 700	t
Erze	244 300	„
Roheisen	59 400	„
Rohstahl	115 200	„
fertige Walzware	70 600	„

Zum Teil hatte allerdings auch die Leistungsfähigkeit der Werkanlagen der Gesellschaft gelitten. Die Erreichung der geringsten Selbstkosten, die im Jahre 1904 scheinbar endgültig gelungen war, hätte weiterhin das Ziel der Betriebsführung bleiben müssen, sie ist aber durch längere Zeit nicht mit den stärksten Mitteln angestrebt worden. Die politisch bewegten Jahre bis 1914 und vollends die Kriegsläufte und der Umsturz haben da manches verschuldet.

Hatte die Gesellschaft auch keinerlei kostspielige Umstellung auf die Erzeugung von Friedensbedarf durchzuführen, da die Werke für Heeresbedarf unmittelbar überhaupt niemals gearbeitet hatten, so stellte ihr doch die neue Wirtschaftsordnung unvergleichlich schwierigere Aufgaben. — Im Jahre 1919 hat zunächst eine Turiner Finanzgruppe den Versuch unternommen, durch Erwerbung der Aktienmehrheit entscheidenden Einfluß auf die Geschicke der Gesellschaft zu nehmen und sie wieder zu einem schlagfertigen Unternehmen auszugestalten. Es ist ihr aber nicht gelungen, die Lage der Gesellschaft in den gänzlich verworrenen Verhältnissen erträglicher zu gestalten. Erst mit dem Übergang der Führung an die Siemens-Rheinelbe-Schuckert-Union setzt eine Wendung zum Besseren ein.

Was die technische Forschung seit Jahren für richtig erkannt hat, das durfte nicht länger unberücksichtigt bleiben: die Verbesserung der Energiewirtschaft im allgemeinen und der Wärmewirtschaft im besonderen nach dem heutigen Stand des technischen Könnens wurde auf allen Linien eingeleitet. Nunmehr ist die wissenschaftliche Betriebführung am Werke, und sie allein ist imstande, den Gang des mächtigen Getriebes ausgeglichener und wirtschaftlicher zu gestalten.

Die nachfolgenden Zahlen über die Erzeugung in den Jahren 1920 bis 1923 lassen erkennen, daß die vorübergehende Lähmung der gesellschaftlichen Betriebe allmählich überwunden worden ist.

Es wurden erzeugt:

	1920 t	1921 t	1922 t	1923 (11 Monate t
Kohle	717 600	682 300	889 900	773 000
Erze	428 500	679 500	1 084 000	1 131 000
Roheisen	89 000	214 300	314 200	312 000
Rohstahl	125 800	198 700	297 500	295 000
fertige Walzware	84 700	132 000	200 100	181 000

Die schrittweise Besserung der internationalen Wirtschaftsbeziehungen und der Wirtschaftsverhältnisse des Inlandes bieten nunmehr der Gesellschaft neuerdings die Möglichkeit, ihre Betriebe wieder auf der Höhe technischer Vollendung zu erhalten, die für einen erfolgreichen Wettbewerb auf die Dauer unerläßlich ist.

[A 73]

Veitscher Magnesitwerke.

Unter Magnesit versteht man in der Technik sowohl das Mineral Magnesitspat, also $Mg CO_3$, jedoch nicht in reiner, sondern in den für technische Zwecke geeigneten verunreinigten Vorkommen, wie auch die daraus hergestellten Erzeugnisse. Mineralogisch sind zwei große Gruppen von Rohmagnesit zu unterscheiden: der amorphe oder dichte und der kristallinische Magnesit. Beide sind nach Entstehung und Verwendung wesentlich verschieden. Der theoretischen Zusammensetzung am nächsten kommen die amorphen, dichten, auch „kryptokristallin" genannten Magnesite. Sie stellen die häufiger vorkommende Erscheinungsform dar, die keine Spaltbarkeit zeigt und schneeweiß bis schwach gelb gefärbt ist.

Das bedeutendste Vorkommen des amorphen Magnesits ist das auf der Insel Euböa. Andere technisch verwertbare Vorkommen sind das von Kraubath, westlich von Leoben, sowie Frankenstein in Schlesien, in Transvaal, in Norditalien, in Schweden, Lappland, in der Mandschurei und Kalifornien. Meist kommt der amorphe Magnesit nur in Adern von geringer Mächtigkeit vor. Eine Ausnahme davon macht nur das Euböa-Vorkommen. Diese amorphen Magnesite sind chemisch reiner als die kristallinen. Sie haben eine außerordentlich hohe Schmelzbarkeit und können daher nur unter Zusatz von Flußmitteln gesintert werden, sind also für metallurgische Zwecke schlecht geeignet. Dagegen werden die amorphen Magnesite durch Erhitzen auf eine verhältnismäßig geringe Temperatur, die nur bis zur Austreibung der Kohlensäure ohne physikalische Veränderung getrieben wird, zur Herstellung des sogenannten kaustischen Magnesits verwendet, der in Mischung mit Magnesiumchlorid-Lauge erhärtet. Dieser Mörtelstoff ist unter dem Namen Sorel-Zement schon lange bekannt, wird aber erst in neuerer Zeit im größeren Maßstabe für Fußböden und Kunststein-Arbeiten verwendet.

Die kristallinen Magnesite eignen sich für die Herstellung von Sorel-Zement weniger, weil sie sämtlich durch einen mehr oder minder starken Eisengehalt verunreinigt sind und infolgedessen einen gefärbten kaustischen Magnesit ergeben. Abgesehen von der Farbe ist es jedoch der Technik gelungen, auch kristalline Magnesite kaustisch zu brennen. Dagegen dient gerade der Eisengehalt der kristallinen Magnesite als willkommenes Flußmittel für die Sinterung des Magnesits. Diese ist für die zweite und wichtigere Verwendung des Magnesits als hochfeuerfestes Material zur Auskleidung metallurgischer Öfen unbedingt erforderlich.

Kristalliner Magnesit findet sich in Österreich und in der Slovakei, im Ural, sowie in Quebeck, Kanada und Washington in den Vereinigten Staaten. Er kommt ferner in Spanien, Norwegen und Schweden vor.

Noch ist es der Technik nicht gelungen, den erforderlichen Eisengehalt in der notwendigen feinen Verteilung künstlich dem Magnesit beizusetzen, so daß die künstlich mit Eisen angereicherten Magnesite in der Qualität solchen mit natürlichem ausreichendem Eisengehalt weit nachstehen. Diese Tatsache ist der Grund für die außerordentliche Bedeutung der österreichischen Magnesit-Vorkommen, die ihre geradezu einzigartige Stellung im Welthandel der Tatsache verdanken, daß sie das Eisenkarbonat gerade in der richtigen Menge in allerfeinster Verteilung, also ähnlich einer isomorphen Mischung, enthalten.

Von den österreichischen und slovakischen Magnesitwerken sind das bedeutendste Unternehmen die Veitscher Magnesitwerke, Aktien-Gesellschaft, die vier Werke in Veitsch, Trieben, Breitenau und Eichberg betreiben. Der Ursprung dieses Unternehmens geht auf das Jahr 1881 zurück, in dem das nach Mächtigkeit und Qualität bedeutendste aller kristallinen Magnesit-Vorkommen in Veitsch (Steiermark) südlich des Semmering durch Carl Spaeter entdeckt wurde. Spaeter fand das Material anläßlich von Schürfarbeiten nach Manganerzen und kam auf Grund der Analyse zu der Überzeugung, daß das neu gefundene Mineral ein noch in höherem Grade feuerfestes Futter für metallurgische Öfen ergeben müsse, als der damals schon gebräuchliche Dolomit. Das neue Material bewährte sich tatsächlich so hervorragend, daß es bald in der Stahlindustrie eine überragende Stellung einnahm. Infolgedessen nahm das von Carl Spaeter geschaffene Werk bald einen solchen Umfang an, daß im Jahre 1899 unter Führung der Union-Bank in Wien die Aktien-Gesellschaft Veitscher Magnesitwerke gegründet wurde, die das Veitscher Werk übernahm und später noch die anderen drei bereits genannten Werke begründete oder erwarb.

Diese Werke sind zusammen für die Erzeugung von 130 000 t Sintermagnesit und die Werke Veitsch und Trieben für eine Erzeugung von 40 000 t Magnesitziegel jährlich eingerichtet.

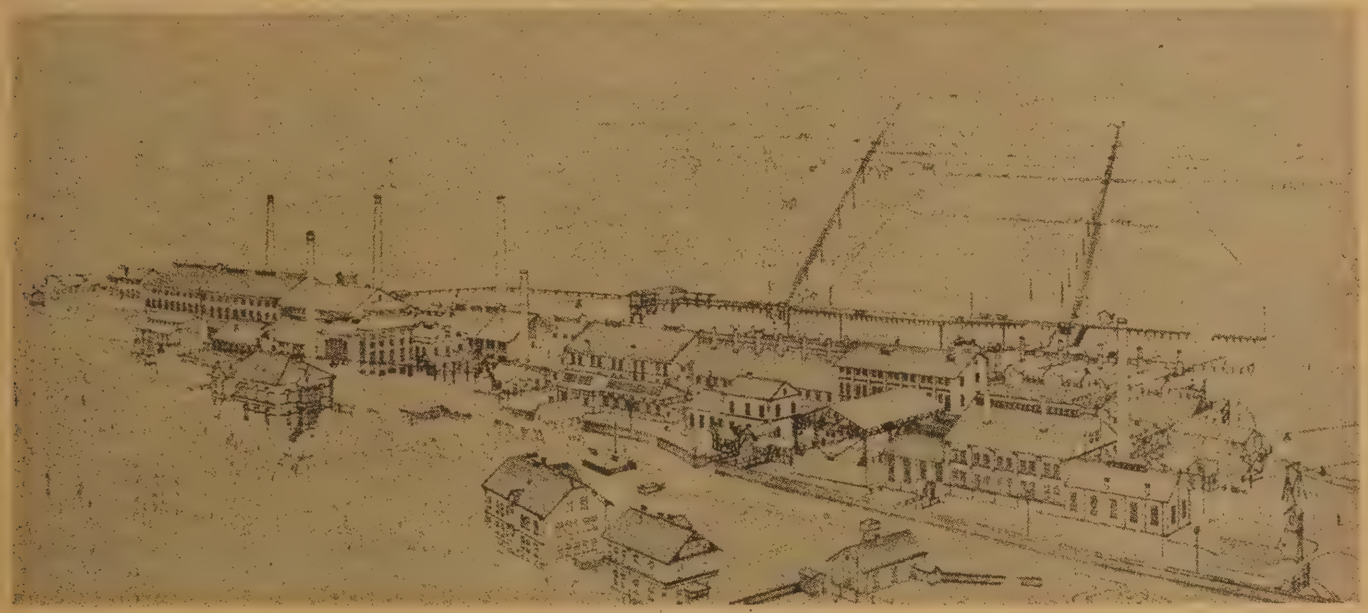


Abb 1. Magnesitwerk Veitsch

Aus der Inanspruchnahme des Materials für die allerhöchsten in der Technik vorkommenden Temperaturen geht hervor, daß der als Ofenfutter bestimmte Magnesit bei noch höheren Temperaturen gebrannt werden muß, als er später in Form des Futters für metallurgische Öfen auszuhalten hat, damit bei dieser Verwendung keine physikalische Veränderung des Futters mehr vor sich geht. Erforderlich ist hierfür eine Temperatur von 1600 bis 1700 °C. Zu diesem Zwecke wird der vorher von taubem Gestein befreite Rohmagnesit in Schachtöfen mit Unterwind bis zur Sinterung gebrannt. Die Befeuerung geschieht teils durch Halbgas-, teils durch Generatorgas-Feuerung. Das Material verliert hierbei annähernd die Hälfte seines Gewichtes an Kohlensäure und erleidet durch die weitere Erhitzung eine physikalische Umwandlung bis zur beginnenden Schmelze, die mit einer Erhöhung des spezifischen Gewichtes und der denkbar dichtesten Lagerung der Moleküle verbunden ist, so daß weitere physikalische Veränderungen ausgeschlossen sind. In neuester Zeit ist im Werke Veitsch ein Rotierofen von 60 m Länge und 4 m größtem Durchmesser aufgestellt, der mit Regenerativfeuerung beheizt wird. Das auf diese Weise gesinterte Material wird im angefeuchteten Zustand einer Lagerung unterzogen, wobei die als Verunreinigung des Rohstoffes zu betrachtenden Kalkteilchen abgelöscht werden, so daß sie im folgenden Fabrikationsgang entfernt werden können. Für die weitere Aufbereitung wird der gesinterte Magnesit in modernen Mühlenanlagen zerkleinert und hierauf auf Kruppschen Magnetscheidern einer Trennung unterzogen. Da der Eisengehalt nur dem eigentlichen Magnesit, nicht aber den Verunreinigungen, wie Dolomit, Kalk und Kieselsäure, angehört, gelingt es, die durch den Eisengehalt magnetisch gewordenen Magnesitteile von den unmagnetischen Verunreinigungen zu trennen. Das Ergebnis ist ein Erzeugnis von einer für metallurgische Zwecke bestgeeigneten chemischen Zusammensetzung, die eine außerordentlich hohe Feuerbeständigkeit zur Folge und den Fabrikaten der Veitscher Magnesitwerke ihren Weltruf gesichert hat. Das aufbereitete Material wird in verschiedenen Korngrößen zur Herstellung von Stampfmasse, Reparatur- und Mörtelmaterial

verkauft, zum großen Teil aber auch in den eigenen Anlagen des Unternehmens zu Magnesitziegeln verarbeitet. Da Sintermagnesit keine plastische Masse darstellt, so ist für die Herstellung der Ziegel ein außerordentlich hoher Druck erforderlich, der in hydraulischen Pressen stärkster Konstruktion Anwendung findet und 300 at/cm² beträgt.

Dieser hohe Druck gibt den Formlingen eine Haltbarkeit, welche die weiterhin notwendige Handhabung mit ihnen vorzunehmen gestattet. Die Ziegel, die zum Zwecke der Pressung zunächst noch einen gewissen Feuchtigkeitsgrad haben müssen, werden in künstlichen Trockenanlagen getrocknet und sodann zum nochmaligen Brand in Mendheimöfen eingesetzt, die dem Hoffmannschen Ringofen ähnlich sind, aber mit Generatorgas geheizt werden. Auch hier ist die Anwendung einer Temperatur von etwa 1600 ° erforderlich, um die Magnesitkörnchen des Formlings miteinander zu verfritten, wodurch die hohe mechanische Festigkeit der Magnesitziegel erreicht wird, die bei Zimmertemperatur etwa 1000 kg/cm² Druck beträgt.

Diese Ziegel werden sowohl in den gangbaren Normalformaten, wie in einer außerordentlich großen Anzahl von Sonderformaten für die verschiedensten Zwecke und Ofenbauarten hergestellt. Sie haben schokoladenbraune Farbe und das spezifische Gewicht von 3,545.

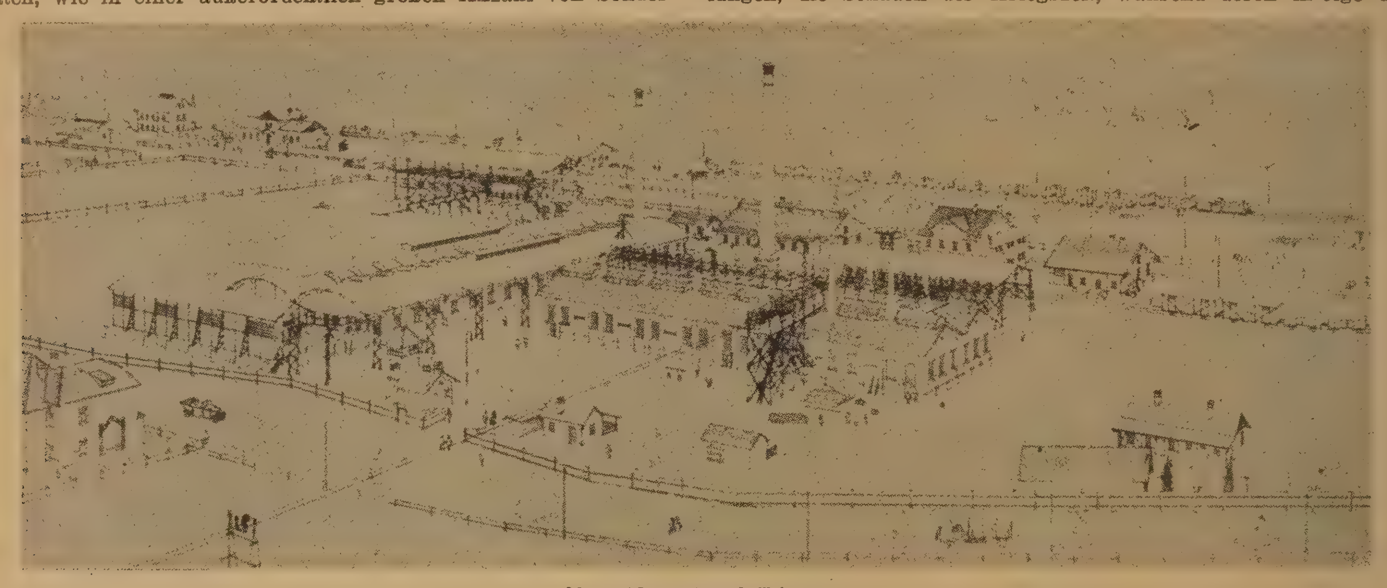


Abb. 2 Magnesitwerk Trieben

Das Werk Veitsch, s. Abb. 1, liegt 750 m ü. M. im Veitschbachtale, ungefähr 7 km nördlich von der Station Mitterdorf-Veitsch der Donau-Save-Adria-Bahn entfernt, am Fuße des mächtigen Magnesitberges, der im Tagebau, und zwar in Terrassen, abgebaut wird, die sich von der untersten Stufe bis zur Spitze über eine Höhe von 150 m erstrecken. Für den Kraftbedarf des Werkes besteht eine neuzeitliche Dampfturbinenzentrale von 2000 PS mit Drehstrom-Generatoren. Alle Arbeitsmaschinen werden durch Elektromotoren betrieben. Die Erzeugnisse werden vom Werke bis zu der eigenen Verladestation am Bahnhof Wartberg durch eine 6,5 km lange Drahtseilbahn befördert.

Das Triebener Werk, s. Abb. 2, ist in nächster Nähe der Station Trieben angelegt und hat eigene Anschlußgleise zur Bundesbahn. Die Magnesitlagerstätte befindet sich im „Sunk", 5 km vom Werke entfernt, in rd. 1200 m Meereshöhe in den Rottenmanner Tauern. Der Abbau erfolgt hier nur teilweise im Tagebau, im übrigen aber wegen starker Überlagerungen und Verwerfungen im Stollenbau. Der Rohmagnesit wird durch eine Seilbahn zum Werk geschafft. Die ganze Anlage wurde im Jahre 1910 in Betrieb gesetzt, ist in der modernsten Weise ausgestattet und entnimmt ihren Kraftbedarf einer eigenen Wasserkraft von 590 PS.

Das Werk Breitenau liegt am Fuße des 1728 m hohen Hochlantsch. Der Rohmagnesit wird im Tagebau in Terrassen gewonnen, die insgesamt 120 m hoch sind, und durch Bremsberge und Seilbahn der Brennerei zugeführt.

Das Eichberger Werk liegt in Niederösterreich in der Nähe von Gloggnitz. Auch hier wird Tagebau betrieben, von dem der Rohmagnesit über Bremsberge dem Werk zugeführt wird.

Der Arbeiterstand aller vier Werke umfaßt 750 Bergleute und 1800 Hüttenleute.

Diese technischen Angaben in kurzen Worten genügen jedoch nicht, um ein richtiges Bild von der großen Leistung zu geben, die der Ausbau der Veitscher Magnesitwerke Aktien-Gesellschaft bis zu ihrer jetzigen Größe verkörpert. Zu dessen vollem Verständnis muß vielmehr darauf hingewiesen werden, daß das bei der Gründung eingezahlte Aktienkapital von 8,000,000 Kr auch heute noch das Gesellschaftskapital darstellt, daß also bei all diesen Erweiterungen der Werkanlagen niemals der sonst übliche Weg der Kapitalvermehrung gewählt wurde. Sämtliche Erweiterungen wurden mit eigenen, selbst erwirtschafteten Geldern durchgeführt, woraus sich auch der hohe Wert der Aktien erklärt. Der Leitung der Gesellschaft ist es auch gelungen, die Schäden der Kriegszeit, während deren infolge des Mangels an geschulten Arbeitskräften eine zweckvolle Ausbeutung des Magnesits nicht möglich war, binnen kurzer Zeit wettzumachen, und zwar zu einer Zeit, wo bekanntlich die notleidende Industrie Österreichs durch Steuern, Abgaben und sonstige Lasten besonders in Anspruch genommen wurde. Aber nicht nur die Schäden der Kriegszeit konnten in verhältnismäßig kurzer Zeit beseitigt werden, es wurde auch bald, und zwar wiederum unter ausschließlicher Verwendung der eigenen Mittel der Gesellschaft darangegangen, nicht nur unter Berücksichtigung der neuesten Erfindungen der modernen Technik die technische Ausgestaltung der Werke auf die höchste Höhe zu bringen, sondern auch durch Errichtung von Wohnhäusern, Badeanlagen usw. zur Verbesserung der Lebenshaltung der Mitarbeiter an diesem großen Werke, der Beamten- und Arbeiterschaft, zu sorgen.

Das Gesellschaftskapital beträgt 8,000,000 Kr, zerlegt in 20 000 Stück voll und bar eingezahlte Aktien zu einem Nennwert von 400 Kr. Im Jahre 1920 gründete die Union-Bank mit der Firma Carl Spaeter, Coblenz, und einer Gruppe französischer Stahlwerke unter Führung von Schneider & Co., Creuzot, und der Firma Les Petits Fils de François dé Wendel & Co., Hayange, ein Majoritätssyndikat, in dem die Mehrheit der Aktien der Gesellschaft gebunden wurde. Die Führung des Syndikates sowie den Vorsitz im Verwaltungsrat hat die Union-Bank, Wien. Im Jahre 1923 haben die Union-Bank und das Bankhaus S. Bosel im Rahmen des bestehenden Majoritätssyndikates und unter Aufrechterhaltung desselben die Mehrheit der Aktien der Veitscher Magnesitwerke Aktien-Gesellschaft erworben. [A 74]

Der Ausbau der Tiroler Wasserkräfte.

Der Plan der westtiroler Großkraftwerke, der die Ausnutzung des oberen Inn, des Pitzbaches und der Oetztaler Ache in drei Gefällstufen mit 95 000 PS höchster und 60 000 PS mittlerer Leistung durch die Kontinentale Gesellschaft für angewandte Elektrizität vorsieht und in der Hauptsache zur Erzeugung von Kunstdünger und Aluminium dienen wird, ist in der Ausführung begriffen. Das Wasser des Inn wird bei der Pontlatzbrücke gefaßt, durch einen 9,5 km langen Stollen mit der Pitztaler Ache verbunden und in einem Großkraftwerk bei Roppen ausgenutzt, wohin auch das Wasser der Oetztaler Ache oberhalb des Pipurgersees abgeleitet wird. Diese unterste Stufe der Werke wird voraussichtlich im Herbst 1924 fertiggestellt sein. Auch der Bau des großen Achenseewerkes wird lebhaft besprochen; jedoch sind die Verhandlungen für die Geldbeschaffung noch nicht abgeschlossen. Zunächst soll die erste Stufe von 20 000 PS, späterhin die zweite Stufe ausgebaut und ein Stauweiher angelegt werden, so daß man eine Spitzenleistung von 100 000 PS erreichen wird. [M 96] Rb.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

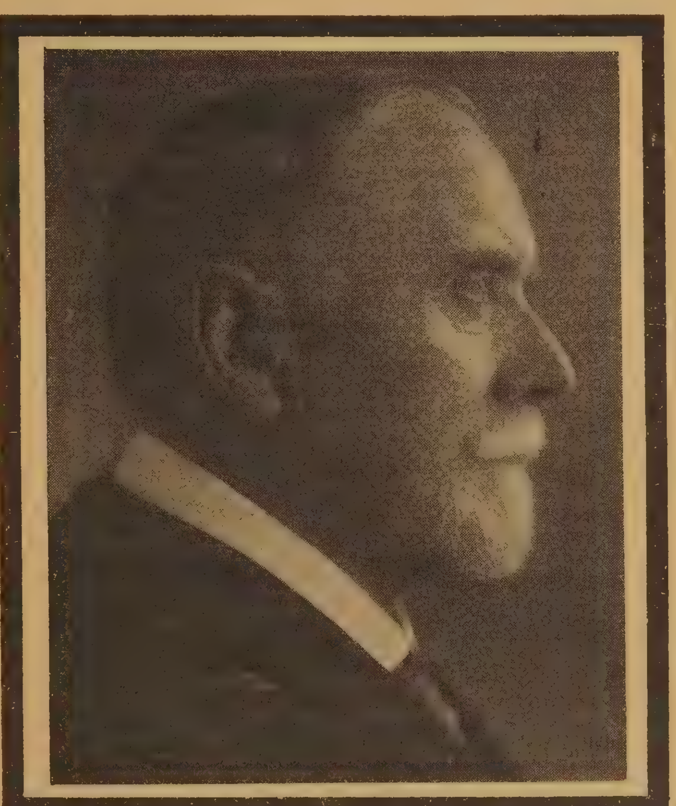
★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 11 SONNABEND, 15. MÄRZ 1924 BD. 68

INHALT:

Wilhelm Schmidt †.

Am 16. Februar verschied nach langem Leiden in Bethel bei Bielefeld der Kgl. Baurat Dr.-Ing. ehrenhalber Wilhelm Schmidt, der Bahnbrecher für die Anwendung des hochüberhitzten Dampfes bei Kraftanlagen. Mit ihm ist einer der erfolgreichsten und kühnsten deutschen Erfinder dahingegangen. Schmidt hatte sich die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschine zur Lebensaufgabe gemacht. Dies ist ihm in glänzender Weise gelungen durch die Einführung des hochüberhitzten Dampfes und neuerdings durch seine langjährigen Arbeiten über die Verwendung hochgespannten Dampfes, deren Ergebnisse vor kurzem der Öffentlichkeit übergeben worden sind und in der ganzen technischen Welt Aufsehen erregt haben.



Schmidt wurde am 18. Februar 1858 in Wegeleben bei Halberstadt geboren, wo seine Eltern ein Fuhrgeschäft mit kleiner Landwirtschaft besaßen. Er besuchte bis zu seinem 14. Jahre die Volksschule seines Heimatortes, und da schon von seiner frühesten Jugend an alle maschinellen Einrichtungen einen unwiderstehlichen Reiz auf ihn ausübten, trat er bei einem Schlossermeister in die Lehre: denn ein höheres Berufsziel als das eines biederen Schlossermeisters schwebte ihm damals nicht vor. Nach Beendigung seiner Lehrzeit arbeitete er als Schlosser in Dresden, Hamburg und München. Alle ihm zur Verfügung stehende freie Zeit und seinen ersparten Verdienst benutzte er, einem inneren Drange folgend, zum Selbststudium und zur Erweiterung und Vertiefung seines allgemeinen und technischen Wissens. In Dresden lernte er 1878 gelegentlich der Ausführung von Reparaturarbeiten den Kunstmaler Prof. Albert Ehrhardt kennen, dessen lebhaftes Interesse der ungewöhnlich begabte Schlossergehilfe erweckte. Prof. Ehrhardt erkannte bald, daß die Schlosserwerkstatt für Schmidt zu wenig sei, und führte ihn persönlich bei Zeuner ein, der sich seiner in freundlicher Weise annahm und ihn auch mit dem Professor für Maschinenbau an der Dresdner Technischen Hochschule Lewicki in Beziehung brachte, der sich für Schmidt besonders interessierte, und dem Schmidt manche dankenswerte Belehrung und Anregung zu verdanken hat. Im Jahre 1879, als Schmidt in Dresden seine Militärzeit abdiente, machte er seine erste Erfindung, die die rotierende Dampfmaschine betraf und die bereits allgemeines Interesse erweckte. Auf Kosten der Technischen Hochschule wurde ein Modell davon angefertigt, und der sächsische Kriegsminister unterbreitete auf Veranlassung Lewickis die Erfindung der Admiralität in Berlin.

Nach Beendigung seiner Militärzeit trat Schmidt auf Empfehlung Zeuners bei der Sächsischen Maschinenfabrik vormals Richard Hartmann, Chemnitz, als Volontär ein. Er gab diese Stellung nach ¾ Jahren bereits wieder auf, um in das technische Bureau der Maschinenfabrik M. Ehrhardt in Wolfenbüttel einzutreten. Herr Ehrhardt, der Sohn seines väterlichen Freundes, Prof. Ehrhardt, brachte Schmidt großes Wohlwollen und Verständnis entgegen, versuchte mit allen Mitteln, ihn zum Besuche einer technischen Schule zu bewegen, und erklärte sich sogar bereit, die Kosten der Ausbildung selbst zu tragen. Schmidts Abneigung gegen alle Schulmethoden ließ ihn jedoch auf diese wohlgemeinten Ratschläge nicht eingehen, und da ihn neue Ideen, darunter auch eine Heißluft-Dampfmaschine für das Kleingewerbe, beschäftigten, denen er gern ungehindert nachgehen wollte, so verließ Schmidt nach 1½ Jahren seine Stellung bei Ehrhardt und begann, 1883, seine selbständige Laufbahn.

Zunächst beschäftigte er sich mit der Heißluft-Dampfmaschine und gewann dabei, entgegen der damals üblichen Anschauung, daß die Dampfmaschine mit der Einführung der Verbundwirkung bereits den Höhepunkt der Entwicklung in wirtschaftlicher Hinsicht erreicht habe, die Überzeugung, daß eine Verbesserung des Wirkungsgrades wohl möglich und notwendig sei. Er suchte dieses Ziel zunächst durch Anwendung hochgespannten Dampfes, durch die sogenannte Strahlmaschine, zu erreichen, eine Erfindung, die nicht der Vergessenheit anheimfallen sollte. Mit einer 40pferdigen, mit 80 at Dampfspannung arbeitenden Versuchsanlage erzielte er schon nach kurzer Zeit verhältnismäßig gute Ergebnisse. Daraufhin erwarb die Firma Blohm & Voß, Hamburg, Schmidts sämt-

liche darauf bezüglichen deutschen und ausländischen Patente und führte eigens den Seedampfer „Alida“ mit einer Maschinenanlage dieser Art aus.

Später wandte sich Schmidt wieder der Heißluft-Dampfmaschine zu und ließ zunächst einen 8 PS-Motor ausführen, bei dem zum ersten Male Temperaturen von 350 °C dauernd anstandslos erzeugt und verarbeitet wurden. Bei einer zufälligen Abstellung der Luftpumpe arbeitete die Maschine allein mit überhitztem Dampf und ergab einen außerordentlich geringen Dampfverbrauch. Diese auffällige Erscheinung führte Schmidt zu der richtigen Erkenntnis, daß nur die hohe Überhitzung des Dampfes allein die Ursache des geringen Dampfverbrauches sein könne. Bei weiteren Versuchen mit noch höheren Überhitzungsgraden fand er diese Erkenntnis bestätigt, und nunmehr wandte er sich ganz der Ausbildung der reinen Heißdampfmaschine zu. Schmidt hat die Vorteile der Dampfüberhitzung nicht als Erster erkannt; seine Vorgänger aber arbeiteten nur mit mäßiger Überhitzung bis zu 250 °C Dampftemperatur, während Schmidt sofort den kühnen Sprung auf eine Temperatur von 350 °C wagte, welcher Dampf von Prof. Lewicki „Heißdampf“ genannt wurde.

Bevor Schmidt seine Ideen über den reinen Heißdampfmotor der Praxis übergab, hielt er eine längere gründliche Erprobung für notwendig. Zu diesem Zwecke stellte ihm Anfang 1891 der ihm befreundete Direktor der Maschinenbau-A.-G. vormals Beck & Henkel, Cassel, Herr Henkel, seine persönliche Unterstützung bei Schmidts weiteren Arbeiten und die Werkstätten seiner Firma zur Durchführung der Versuche zur Verfügung, ein Umstand, der Schmidt zur Übersiedlung nach Wilhelmshöhe veranlaßte. In 8 Monate dauernden Versuchen, die zunächst von unsagbaren Schwierigkeiten begleitet waren, die den Fernstehenden als Mißerfolg erschienen und bei denen ganz neue Erkenntnisse gewonnen wurden, wie z. B. über den Einfluß der Dampfnässe auf die Überhitzung usw., wurden die Konstruktionsverhältnisse in allen Einzelheiten festgelegt und die Vorbedingungen für die anstandslose Erzeugung und Verwendung hochüberhitzten Dampfes geschaffen[1]). Im Jahre 1894 erbauten Beck & Henkel die erste Schmidtsche Heißdampf-Tandemmaschine mit Kondensation, die den außerordentlich geringen Dampfverbrauch von 4,5 kg/PS aufwies. Die Maschine kam in Schweden zur Aufstellung, von wo sie nach 25jährigem Betrieb von der Schmidtschen Heißdampf-Gesellschaft zurückerworben und wegen ihres geschichtlichen Interesses dem Deutschen Museum zur Verfügung gestellt wurde.

Schmidt widmete sich zunächst der Einführung des Heißdampfes im ortfesten Dampfmaschinenbetrieb und erteilte einer größeren Anzahl in- und ausländischer Firmen Ausführungsrechte für seine darauf bezüglichen Patente. Um gewissermaßen eine Zentralstelle für die Vornahme weiterer Versuche und zur Gewinnung von Erfahrungen zu schaffen, trat er im Jahre 1895 als Teilhaber in die Eisengießerei und Maschinenfabrik von W. L. Schröder, Aschersleben, ein, die in die Firma W. Schmidt & Co. umgewandelt wurde. Da diese Firma jedoch nicht genügend eingerichtet war, um der ständig wachsenden Nachfrage nach größeren Maschinensätzen zu entsprechen, so nahm Schmidt Anfang 1898 das Angebot einer Anzahl erster deutscher Bankfirmen unter Führung der Bank für Handel und Industrie an, seine deutschen Patente für ortfeste Heißdampfanlagen zu erwerben und ein neues großes Werk für den Bau solcher Anlagen zu errichten. Schmidt trat in den Aufsichtsrat der neuen Gesellschaft, der Aschersleben er Maschinenfabrik A.-G. (vormals W. Schmidt & Co., Aschersleben) ein. Da die Fabrikleitung die Erwartungen Schmidts in bezug auf ein gedeihliches Zusammenarbeiten zur weiteren Entwicklung der Heißdampfsache nicht erfüllte, trat er bereits im Jahre 1899 aus der Firma wieder aus

Schmidt wandte sich nunmehr ganz der Einführung des hochüberhitzten Dampfes im Lokomotivbau zu. Die Schwierigkeiten, die dabei zu überwinden waren, sowohl in technischer Hinsicht als auch wegen des Vorurteils vieler Fachleute, waren außerordentlich groß. Aber Schmidt überwand alle diese Hindernisse dank seiner unbeugsamen Energie, die sich durch scheinbare Mißerfolge von dem einmal als richtig erkannten Wege nicht abbringen ließ, und durch sein felsenfestes Gottvertrauen, das ihn auch in den schwierigsten Lagen vor Mutlosigkeit bewahrte. Unter der tätigen Mitwirkung seiner Mitarbeiter, namentlich seines Freundes, des Geheimen Baurats Garbe, wurden die ersten beiden Heißdampflokomotiven im Jahre 1898 von der Preußischen Staatsbahn in Betrieb genommen[2]). Heute sind mehr als 100 000 Lokomotiven in allen Ländern der Welt mit Schmidtschen Überhitzern ausgerüstet. Hand in Hand damit ging die Einführung der Schmidt-Überhitzer im Schiffsbetriebe.

Diese Erfolge erregten bereits im Jahre 1898 die Aufmerksamkeit englischer Fachleute und Kapitalisten, die Schmidt ein günstiges Angebot zur Erwerbung seiner Patente machten. Da es Schmidt vorher nicht gelungen war, in Deutschland die notwendige Unterstützung zur Verwertung seiner Erfindungen zu erhalten, und er Mittel zur Verwirklichung seiner weiteren Ideen und Erfindungen nötig hatte, nahm er dieses englische Angebot an. So wurden im Jahre 1899 verschiedene englische Gesellschaften gegründet, deren alleinige und unbeschränkte Leitung Schmidt im Jahre 1904 übernahm, nachdem ihn die bisherige Leitung nicht befriedigt hatte.

Im Jahre 1910 gelang es Schmidt, die Rückübertragung seiner Patente an seine deutsche Gesellschaft, die Schmidtsche Heißdampf-Gesellschaft m. b. H., Cassel-Wilhelmshöhe, durchzusetzen, während in England nur eine Tochtergesellschaft verblieb, die sich ausschließlich mit der Verwertung seiner englischen Patentrechte befaßte. Im gleichen Jahre gründeten Schmidt und seine Mitarbeiter zur Verwertung seiner amerikanischen Patente eine außerordentlich erfolgreiche amerikanische Gesellschaft, deren Präsident Schmidt bis kurz vor Eintritt der Vereinigten Staaten in den Weltkrieg blieb, obwohl er niemals amerikanischen Boden betreten hat.

Nachdem die Einführung des Heißdampfes im Lokomotivbetrieb zu einem gewissen Abschluß gebracht worden war, nahm Schmidt seinen alten Lieblingsgedanken wieder auf, den Hochdruckdampf im Dampfmaschinenbetrieb einzuführen. Die Versuche schienen anfangs die in der Technik herrschende Auffassung zu bestätigen, daß durch Drucksteigerung bei der Kondensationsmaschine nicht viel zu holen sei. Schmidt ließ sich aber durch die Fehlschläge nicht beirren, sondern ging mit seinem genialen Tiefblick den Fehlerquellen der Dampfmaschine nach. Durch zähe, andauernde Studien, deren Richtigkeit durch spätere praktische Versuche in der Versuchsanstalt der Schmidtschen Heißdampf-Gesellschaft in Wernigerode bestätigt wurde, fand er bald die Ursachen der unvollkommenen Arbeitsweise sowie die Mittel zu ihrer Bekämpfung. Über seine Arbeiten auf diesem Gebiete wurde erstmalig auf der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure im Jahre 1921 in Cassel berichtet[3]). Seitdem hat sich die ganze technische Welt des In- und Auslandes mit dieser Frage beschäftigt, und kürzlich auf der Hochdrucktagung des Vereines deutscher Ingenieure in Berlin kam zum Ausdruck, daß nunmehr eine völlige Umwälzung im Dampfmaschinenbau bevorstehe; diese eingeleitet zu haben, ist eines der Verdienste Wilhelm Schmidts.

Schmidt war ein sehr fruchtbarer und vielseitiger Erfinder und Denker, der sich nicht nur auf dem Gebiete des Dampfmaschinenbaues, sondern auch auf anderen Gebieten betätigte, z. B. auf dem der Verbrennungsmaschine und der Vereinigung der Verbrennungsmaschine und der Hochdruckdampfmaschine. Es muß jedoch einer späteren Zeit vorbehalten bleiben, seinen weit vorausschauenden Ideen im einzelnen nachzugehen. Sein allem Schematischen abholder, durch keine einseitige Schulbildung gehemmter Geist hat so manche Anschauung über den Haufen geworfen, die vor ihm als Dogma angesehen worden war. Mit Formeln und Buchstabenrechnung konnte er sich nie befreunden. Trotzdem überraschte er seine wissenschaftlichen Mitarbeiter immer wieder durch die einfachen rechnerischen Mittel, durch die er auch den schwierigsten Problemen beizukommen verstand. — In seiner unbegrenzten Wahrheitsliebe, ebenso rücksichtslos mit sich selbst zu Rate gehend, wie unerschrocken gegen andere auftretend, war er sich wohl bewußt, daß er in mancher Hinsicht der Ergänzung bedurfte. Er verstand es aber, treu ergebene Mitarbeiter an sich zu ziehen, die vielfach seine befruchtenden Erfindungen ergänzten und praktisch ausbildeten. Schmidt beschäftigte sich auch viel mit religiös-philosophischen Fragen und betrachtete fast alle Probleme, mit denen er sich befaßte, vor allem von dieser Seite. Es war ein dauerndes schweres Ringen seines Geistes mit dem gestellten Problem, wie man es oft bei großen Künstlernaturen findet. Immer wieder und von einer neuen Seite, mitunter in jahrelangen Abständen, packte er die gestellte Aufgabe an, drang immer tiefer in das Wesen der Sache ein, bis die Lösung blitzartig vor seinem geistigen Auge stand. Dieses andauernde geistige Ringen mit den tiefen Problemen und die namentlich in den letzten Lebensjahren immer klarer werdende Erkenntnis der Gründe, weshalb seinem geliebten Vaterlande diese Zeit der schweren Not nicht erspart bleiben konnte, zugleich mit dem heißen Bemühen, den erkannten Weg der Hilfe zu weisen, waren die Ursache seines eigenen Zusammenbruchs.

Zahlreich waren die äußeren Ehrungen, die Schmidt zuteil wurden: Die Technische Hochschule zu Karlsruhe hat ihn anläßlich seines 50. Geburtstages durch die Würde eines Dr.-Ing. ehrenhalber ausgezeichnet, der Verein deutscher Ingenieure verlieh ihm die Grashof-Denkmünze, die Königl. Akademie des Bauwesens die Goldene Medaille, und im Jahre 1913 wurde ihm der Titel eines Kgl. Baurats verliehen.

Trotz aller äußeren Erfolge blieb Schmidt jedoch der bescheidenste Mensch, der seine Erfolge niemals als eigenes Verdienst betrachtete, sondern in seinem kindlich reinen Glauben und getreu seinem Wahlspruch: „Gott allein die Ehre“, in seinem Herzen stets der höheren Gewalt für seine irdischen Erfolge dankte.

Verein deutscher Ingenieure. **Hessischer Bezirksverein deutscher Ingenieure.**

[1]) s. Z. Bd. 38 (1894) S. 828, 1437; Bd. 39 (1895) S. 5; Bd. 40 (1896) S. 249 u. f., 1390 u. f.

[2]) s. Z. Bd. 45 (1901) S. 1663; Bd. 46 (1902) S. 145 u. f.

[3]) Z. Bd. 65 (1921) S. 663 u. f.

Großstadtverkehr.

Von Dr. Kemmann.

Der Chefingenieur des New Yorker Verkehrsamtes, Robert Ridgway, hat im Herbst 1921 über die Verkehrsverhältnisse, insbesondere über den Schnellverkehr von London, Glasgow, Hamburg, Berlin und Paris, auf Grund örtlicher Studien eingehend berichtet und untersucht, welche Nutzanwendungen daraus für New York gezogen werden könnten. Die im Bericht niedergelegten Tatsachen bestätigen, daß die New Yorker von Europa in dieser Beziehung nur wenig übernehmen können, während umgekehrt für die europäischen Verhältnisse von New York aus weitere Befruchtung erwartet werden kann.

In den ersten Nachkriegsjahren war Deutschland das Reiseziel zahlreicher ausländischer Fachleute, da seine Wiederaufbaubestrebungen unter den verworrenen Verhältnissen, die der Beutefrieden von Versailles und der Umsturz im Lande selbst geschaffen hatten, naturgemäß weitgehendes Interesse erregen mußten. Dem Verkehrswesen als wesentlichem Bestandteil der Gesamtwirtschaft wurde dabei naturgemäß besonderes Augenmerk zugewendet. Auch die Verkehrsverhältnisse der Großstädte, insbesondere Berlins, sind in dieser Zeit Gegenstand des Studiums englischer und amerikanischer Fachleute gewesen.

Im amtlichen Auftrage hat der Chefingenieur des New Yorker Schnellverkehrsamtes, Robert Ridgway, im Herbst 1921 das Verkehrswesen einer Anzahl der wichtigsten europäischen Großstädte, London, Glasgow, Hamburg, Berlin und Paris, eingehender studiert und darüber gegen Ende 1922 einen umfassenden Bericht erstattet[1]). Daß sich unter den genannten fünf Städten zwei deutsche befinden, zeigt, welche Beachtung Deutschland auch nach dem Krieg auf dem Gebiete des Verkehrs gezollt worden ist. Wir wissen, daß sich die Verkehrsverhältnisse und Verkehrseinrichtungen New Yorks, an deren Gestaltung der Berichterstatter selbst an hervorragender Stelle mitzuwirken berufen ist, von denen der europäischen Großstädte wesentlich unterscheiden. Der europäische Fachmann, der Amerika besucht, bringt von dort stets Eindrücke einer riesenhaft gesteigerten Betriebsamkeit und Gedrängtheit des Verkehrslebens mit heim. Auch der Amerikaner empfängt in Europa eine Fülle von Anregungen. Wird aber die Frage in den Vordergrund gestellt, wer von dem andern im Bau- und Betriebswesen der Schnellbahnen am meisten lernen könne, so lautet die Antwort verschieden. Daß das europäische Schnellverkehrswesen von Amerika aus dauernd befruchtet worden ist und weiter befruchtet werden kann, ist unbestritten; daß aber die Amerikaner, richtiger hier die New Yorker, von Europa in dieser Beziehung nur wenig übernehmen können, lehren aufs neue die Tatsachen des vorliegenden Berichtes; bei aller Anerkennung, die der Verfasser den europäischen Einrichtungen nach verschiedenen Richtungen in durchaus objektiver Weise zu Teil werden läßt, ist er doch nicht in der Lage, daraus für New York wesentliche Nutzfolgerungen zu ziehen.

Den Hauptteil des mehr als 300 Seiten Maschinenschrift umfassenden und mit 15 photographischen Vervielfältigungen von Omnibus-, Straßen- und Schnellbahnlinien ausgestatteten überaus stattlichen Berichtes bilden ganz vortreffliche Einzeldarstellungen über das Verkehrswesen der genannten fünf europäischen Weltstädte sowie von New York selbst, in denen der geschulte Fachmann überall das Wesentliche niedergelegt hat.

Auf die Abschnitte im einzelnen einzugehen, würde zu weit führen. Es genügt in Wirklichkeit auch, an der Hand der in einem Schlußabschnitt gezogenen Folgerungen kurz zu erläutern, wie der Verfasser die Verkehrseinrichtungen der verschiedenen Städte in Ansehung der New Yorker Verhältnisse beurteilt und gegeneinander abwägt. Um die wesentlichsten Unterschiede schon von vornherein deutlich hervortreten zu lassen, hat er den Verkehr und beim Schnellverkehr die Hauptmerkmale der zu seiner Bewältigung dienenden Einrichtungen in einer Zahlenzusammenstellung gekennzeichnet, die, auf metrische Maße umgerechnet, unten auf dieser Seite wiedergegeben ist.

Dem vorstehenden Zahlenbilde tut es wenig Eintrag, daß es bei der Ungleichartigkeit der benutzten Grundlagen nicht durchweg einheitlich ist, daß beispielsweise für Paris nicht das Gebiet des Großgemeinwesens, sondern nur das „eigentliche" Paris innerhalb der Gürtelbahn dargestellt ist. Als Schnellbahnen sind nur die Ortsbahnen mit elektrischem Betrieb, nicht auch die mit Dampfbetrieb (Stadt- und Vorortbahnen) verstanden, elektrisierte Dampfbahnen nur zum Teil, insoweit sie nämlich durch innere Stadtgebiete hindurchgeführt sind. So ist z. B. die früher mit Dampf, jetzt elektrisch betriebene Londoner Distriktbahn unter die Schnellbahnen einbegriffen, während elektrisierte Vorortstrecken, wie in London die der Südwestbahn, der London-Brighton-Bahn, der Nordwestbahn, in Berlin die Lichterfelder Bahn nicht einbezogen sind. Aber auch die Metropolitanbahn ist in London nur beim Gesamtverkehr mitgezählt. Wenn so das Bild auch nicht durchaus vollständig und einheitlich sein konnte, so ist es doch lehrreich genug.

New York hat nicht die größte Bevölkerungszahl, denn es wird von London um den dritten Teil übertroffen. An Verkehrsumfang wird es aber bald an erster Stelle stehen; zurzeit (1921) hat London noch etwa ein Neuntel Fahrgäste mehr. Gegenüber den anderen Großstädten beherrscht aber in New York der elektrische Betrieb im Schnellverkehr ausschließlich das Feld. Dabei geht er Tag und Nacht ohne Unterbrechung weiter, so daß selbst für die Ausbesserungen des Bahnkörpers keine Ruhepausen bleiben. Der Verkehrsdrang ist in der Innenstadt so gewaltig, daß im Schnellverkehr neue Bahn- und Betriebsformen gefunden werden mußten: neben dem gewöhnlichen Schnellverkehr ist ein beschleunigter Zugverkehr entstanden; die Zuglängen — daher auch die Stationslängen — sind größer, dabei die Wagen selbst mit größerem Fassungsvermögen ausgestattet als in den anderen Großstädten. Wir finden hier das — natürlich selbsttätige — Signalwesen bis zu einem Grade verfeinert, wie man es in Europa noch kaum kennt. Die Abfertigung hat neue Formen des Anzeige- und Meldewesens in den Bahnhöfen und Zügen, der selbsttätigen Türverschlüsse und der Zugabfertigung u. a. gezeitigt, Neuerungen, die jedoch hier nicht überall ohne weiteres einzuführen sein würden. Hat es doch sogar in Berlin schon die größten Schwierigkeiten bereitet, das selbsttätige Signalwesen zur Durchführung zu bringen. Aber in London geht Lord Ashfield, der nordamerikanische Anschauungen mit nach England hinübergenommen hat, unentwegt mit der Einführung zeitgemäßer Neuerungen vor, die sich auch wirtschaftlich durchaus günstig auswirken.

Die eigenartige wagerechte und senkrechte Gliederung New Yorks hat dem Schnellverkehrswesen das besondere Gepräge gegeben. Während sich die Bevölkerung der europäischen Großstädte ungehemmt auf weite Umflächen verteilen konnte, ist New York auf allen Seiten von Meeresarmen umgeben; es ist Inselstadt. Dies führte zu einer ungeheuren Massierung der werktätigen Bevölkerung in der „Down town", der City von Manhattan, zum Bau eines wahren Felsengebirges von Turmhäusern, zwischen denen die Kirchtürme zwerghaft versinken.

[1]) Local Transit Conditions in London, Glasgow, Hamburg, Berlin, Paris and New York. A Report to the Transit Commission of New York, by Rob. Ridgway, Chief Engineer, Sept. 20. 1922.

	New York	London	Glasgow	Hamburg	Berlin	Paris
Zähljahr	1920	1921	1921	1919	1919	1921
Gesamtbevölkerung	5 620 000	7 447 200	1 034 100	999 900	3 804 000	2 906 500
Stadtgebietsfläche . km²	770	1787	78	132	878	78
Durchmesser einer gleichen Kreisfläche km	31	48	10	13	34	10
Elektrische Schnellbahnen „	343	114	10	65	39	95
Jährlicher Ortsverkehr . Personen	2 632 514 200	2 969 278 900	458 613 300	263 075 900	1 465 816 500	1 616 789 600
Davon auf elektr. Schnellbahnen befördert vH	58	12	3	18	7	35
Gesamtzahl der Fahrten auf den Kopf der Bevölkerung	487	286	443	212	385	384
Davon im elektr. Schnellverkehr zurückgelegt	271	34	13	38	27	104
Tägliche Dauer des Schnellbahnbetriebes . . h	24	19	16½	17	19	19
Übliche Länge der Schnellbahnstationen . m	146*)	107	46	60	80	75
Durchschnittlicher Stationsabstand . . . . m	670	976	698	793	775	500
Größte vorkommende Wagenzahl der Züge	Der Schnellzüge 10; Der gewöhnlichen Züge 8	Bei der Distriktbahn 8; Bei den Röhrenbahnen 6	2	5	6	5
Größte zulässige Wagenzahl in den Zügen	Bei der Interborough 10; Bei der New Yorker Stadtbahn 8	8	4	5	8	6

*) Geringste Länge (im Ortsverkehr) 67 m, Länge bei der Pennsylvanischen Bahn 160 m.

Daher auch die außerordentliche Häufung, anderseits auch Differenzierung im Schnellbahnwesen, wie wir sie in gleicher Weise in Europa nicht finden. Und damit nicht genug: die Schnellbahnen sind gleich Steigrohren auch noch aufrecht in die Turmhäuser hinein fortgesetzt in Gestalt von Aufzügen, die nun auch wieder in ähnlicher Weise gehäuft und in Schnell- und Lokalverkehrsmittel gegliedert sind, wie die elektrischen Schnellbahnen selbst. So ist es letzten Endes dahin gekommen, daß der Geschäftsmann in der Stadt vielfach selbst zum Fremdling wurde, da er mit der Schnellbahn nicht nur unmittelbar unter sein Bureauhaus, sondern mit den Aufzügen sofort auch zu den Geschäftsräumen selbst befördert wird; was er im übrigen innerhalb der Arbeitszeit bedarf, findet er im Geschäftshause selbst vor. Fehlte nur noch, daß er darin auch noch seine Schlafstelle aufschlüge, um auch die Trennung des geschäftlichen und des häuslichen Lebens vollkommen zu machen. Bewundernswert ist nun, wie es die Amerikaner mit außerordentlich gesteigerten technischen Hilfsmitteln neuerdings möglich gemacht haben, die Hindernisse der die Inselstadt rings umgebenden Meeresarme für den Schnellverkehr fast vollkommen zu überwinden; die große Zahl neuentstandener Tunnel und Riesenbrücken legt hiervon Zeugnis ab. Damit ist auch wieder die bauliche Entwicklung beschleunigt worden; wie insbesondere die himmelwärts drängende Citybildung fortschreitet, so dauert auch die unterirdische Anhäufung von Schnellbahnen fort, ohne daß diese jedoch mit der fortschreitenden Ansammlung der Werktätigen in dem Turmhausgebiet auch nur entfernt Schritt halten könnten. Wer hiernach in Europa nach Mitteln hätte suchen wollen, mit denen die außergewöhnlichen Verkehrsaufgaben New Yorks hätten bewältigt werden können, der mußte erwarten, daß seine Studien schließlich für diese Zwecke nur ein dürftiges Ergebnis liefern.

Der Berichterstatter hat sich in den europäischen Städten gründlich umgesehen. Er hat nicht nur den technischen Fragen sein Augenmerk zugewendet. Er berichtet über die Führung der Linien und ihre Ausgestaltung, die Bahnhofsformen und Bauverfahren, die Betriebsweisen und Leistungen, aber auch über wirtschaftliche Angelegenheiten sowie über die Überwachung und die Organisation der Verkehrsunternehmungen.

Die Regel, daß Schnellbahnen nicht nur der Stadtentwicklung folgen, sondern ihr je nach den Umständen — aber in billigeren Ausführungsformen — auch den Weg bahnen, sie nachziehen, in bebauten Gebieten aber den Hauptverkehrsrichtungen folgen sollen, gilt in Amerika so gut wie hier, ebenso, daß Gürtelbahnen um Verkehrsgebiete herum (Beispiele in Glasgow, Paris) diesen Zwecken im allgemeinen nicht genügen können, und daß durch zu weitgehende Verzweigung einer Linie im Außengebiet die Einrichtung einer passenden Zugfolge auf Stamm- und Zweiglinien sowie auf den Zweiglinien untereinander stark erschwert wird, so daß letzten Endes die Stammlinien die zugeführten Züge nicht mehr verdauen können. Weiterhin ergaben sich besondere Betriebschwierigkeiten in Fällen, in denen Schnellbahnlinien an einzelnen Punkten von anliegenden Kopfbahnhöfen aus stark mit Umsteigeverkehr belastet werden, während gegen einen allgemeinen Umsteigeverkehr in einem ausgedehnten Liniennetz mit unabhängiger Zugführung, wie in Paris, Bedenken nicht bestehen.

Richtige Verteilung der Stationen bei neu anzulegenden Schnellbahnen erfordert besondere Aufmerksamkeit und Erfahrung. Sind die Stationsabstände zu gering, so wird die Reisegeschwindigkeit zu sehr vermindert, sind sie zu groß (London), so werden die einzelnen Stationen zu sehr belastet, zumal wo Umsteigeverkehr in Betracht kommt. Für den Ortszugbetrieb im Geschäftsviertel von Manhattan hält der Verfasser einen Stationsabstand von etwa 550 m, in den außenliegenden Gebieten bis zu 800 m für zweckentsprechend, während er für den beschleunigten Zugbetrieb die Stationsabstände auf 2½ bis 3¼ km, in dichter Bebauung bis zu 5 oder 6½ km erweitert wissen will. Nach dem New Yorker Verfahren, die Ort- und Schnellbahngleise nebeneinander zu legen, gelangt man schließlich zu einer fünfgleisigen Bahnanordnung; viergleisige Bahnstrecken gibt es in New York schon seit Jahrzehnten; im übrigen hat London derartige Gleisanordnungen im Dampfbetriebe noch länger besessen.

Rein baulich haben dem Berichterstatter die europäischen Schnellbahnen nichts Bemerkenswertes geboten. In der räumlichen Ausgestaltung stehen die europäischen Schnellbahnen gegen die New Yorker sehr zurück. Er habe nur zwei elektrische Tunnelschnellbahnen, nämlich die Bahnen des Londoner Innenringes und die Nord- und Citybahn, gefunden, die für die Wagen der älteren New Yorker Untergrundbahn (Interborough) genügend Raum bieten würden, aber auch nur, weil sie ursprünglich für das Profil der Dampfzüge gebaut worden seien. Im übrigen erkennt er die bis ins kleinste gehende Sorgfalt der Herstellung und das Bestreben, die Bauten künstlerisch ansprechend und ausdrucksvoll durchzubilden, unumwunden an, steht aber auf dem Standpunkt, daß dieses künstlerische Bestreben doch wohl zu weit gehe und das Beispiel nicht durchweg zur Nachfolge empfohlen werden könne.

In Nordamerika zumal habe die Notwendigkeit der vielen Um- und Ersatzbauten dazu geführt, öffentliche Bauten im Gegensatz zu Europa als Werke vorübergehender Art anzusehen. Die Benutzung behauener Steine müsse dort der Kosten wegen, die Verwendung von Ziegeln aus örtlichen Gründen eingeschränkt und auf Verblendungen zum Schutz des eigentlichen Mauerwerkes beschränkt bleiben, so wünschenswert an sich unter den klimatischen Verhältnissen Amerikas ein derartiger Schutz bei Betonmauerwerk, namentlich bei Gußbeton auch sei, so lange der Beton selbst nicht wetterfester gemacht werden könne. Im übrigen entspreche es der amerikanischen Gepflogenheit, die Harmonie in den Gestaltungen mehr durch Formgebung und Verteilung der Betonmassen, als durch schmückende Zutaten geformter und behauener Baustoffe zu erstreben.

Alles in allem war für die technische Gestaltung der New Yorker Schnellbahnen in Europa nicht viel zu lernen. Der rechteckige Regelquerschnitt der New Yorker Schnellbahntunnel kann nicht günstiger gestaltet werden; er nimmt gegenüber anderen Querschnittsformen den wenigsten Raum ein, und durch weitere Vergrößerung des Querschnittes könnte auch die Leistungsfähigkeit der Bahnen nicht mehr erhöht werden. Dagegen scheint dem Berichterstatter fraglich, ob die New Yorker Bahnhoflängen für den elektrischen Schnellbetrieb nicht hätten vergrößert werden sollen. Die Tatsache, daß auf den örtlichen Dampfbahnen trotz der dem Dampfbetrieb anhaftenden Nachteile Züge von 12 und mehr Wagen in regelmäßigem Betriebe gefahren werden, hat ihn hier recht nachdenklich gemacht. Derartige Betrachtungen kommen jedoch heute zu spät, da die Verlängerung der zahlreichen Stationen in New York ebensowenig durchführbar ist wie in Europa. Die Bahnhöfe der elektrischen Schnellbahnen findet er hier im allgemeinen viel zu kurz, und er wundert sich, daß auch Vorkehrungen für eine spätere Verlängerung der Bahnsteige trotz der geringen Mehrkosten nicht getroffen worden sind. Für künftige Ausführungen sollte man diesen Punkt nicht nur in Europa, sondern auch in Amerika im Auge behalten.

Es ist schon auf die Betriebserschwerungen hingewiesen, die entstehen, wo Schnellbahnen außer ihrem eigenen Verkehr den Zustrom von Hauptpersonenbahnhöfen in die Geschäftsviertel weiterleiten müssen, ein Fall, der anderswo selten in so ausgeprägter Form auftritt wie in New York bei den großen Bahnhöfen der Zentralbahn und der Pennsylvanischen Bahn in Manhattan sowie beim Bahnhof an der Zentralavenue in Brooklyn. In der Morgenflut des Verkehrs schütten diese Stationen den Menscheninhalt ganzer Züge, oft mehrerer zugleich, auf die Schnellbahn. Auf solchen zeitweiligen Ansturm sind die Schnellbahnstationen infolge der geringen Straßenbreiten und des kostspieligen Grunderwerbs nicht eingerichtet. Daß diese örtlichen Verkehrsmassen den Hauptbahnen selbst in den Flutzeiten recht unbequem sind, wird der Entwicklung keinen Einhalt tun; die Siedlungspolitik kümmert sich in New York um solche Erwägungen nicht.

Dem Massenansturm auf die Schnellbahn könnte in verschiedener Weise gesteuert werden. Durch mittelbare oder unmittelbare Weiterführung der Stammbahngleise ins Stadtinnere wäre die Schnellbahn am gründlichsten zu entlasten, doch sind für derartige Gleisanlagen, deren Betrieb dann schnellbahnmäßig zu gestalten wäre, schwer passende Straßen zu finden; auch ständen den bedeutenden Mehrkosten keine entsprechenden Mehreinnahmen gegenüber. Eine wesentliche Entlastung der Schnellbahn wird aber auch schon erreicht, wenn die Stammbahn vor Erreichung des Endbahnhofs durch günstig gelegene Schnellbahnen angezapft wird, die für den Umsteigeverkehr genügend Unterkunft bieten. Das ist bei der Long Island-Bahn der Fall, deren Ortsverkehr zum Teil an der Manhattan-Kreuzung und der Nostrand Avenue zur Hochbahn übergeht, so daß an dem Endbahnhof an der Flatbush Avenue kein zu großes Gedränge mehr übrig bleibt. Ähnlich geht ein Teil des Ortsverkehrs der Zentralbahn schon in Marble Hill, an der 138.- und 125.-Straße auf die Broadway und Lexington Avenue-Tunnelschnellbahn über. Wie weitere Entlassungen dieser Art geschaffen werden können, muß studiert werden.

Der europäischen Art, bei Hochbahnen die volle Station oder doch wenigstens den an den Eingang anschließenden Teil und nicht nur die Bahnsteige zu überdachen, wie in New York, wird vom Berichterstatter durchaus beigestimmt, trotz der größeren Kosten und der massigeren Wirkung solcher geschlossenen Überdachung. Er tritt ferner dafür ein, daß Abortanlagen auch bei gemeinwirtschaftlich durchgeführten Schnellbahnunternehmungen so angelegt werden, daß sie nur von den Fahrgästen, nicht auch allgemein benutzt werden können.

Die Besichtigungen der Bauarbeiten an der Berliner Nordsüdbahn und von Untergrundbahn-Neubauten in Paris haben bei dem Berichterstatter einen ausgezeichneten Eindruck über die Güte der Ausführungen im Ganzen wie im Einzelnen hinterlassen, die durch die langjährige Fachübung der Arbeiter und die sorgfältige Überwachung der Arbeiten erklärlich sei. Er findet die weitgehende Fürsorge für die Aufrechterhaltung des öffentlichen Verkehrs bei den Bauausführungen bemerkenswert; als Beispiel führt er einen Fall an, in dem die Bodenabfuhr durch besonders angelegte Tunnel unmittelbar in Schiffsgefäße erfolgte, um die Straßen frei zu halten.

Auch in Hinsicht der Betriebsführung halten die europäischen Schnellbahnen, so trefflich sie auch verwaltet werden, doch den Vergleich mit den New Yorker Schnellbahnen nicht aus. Durchgehender Nachtbetrieb, wie in New York, ist in Europa

nirgends zu finden. Wohl trifft man stellenweise starke Verkehrswellen, durch Sicherungsanlagen aufs beste geschützte enge Aufeinanderfolge der Züge, im ganzen aber hat Europa dem New Yorker Schnellbetrieb nichts Ähnliches an die Seite zu stellen. Das gilt nicht nur für Europa, nirgends überhaupt wird beispielsweise das Abfahrzeichen der Züge selbsttätig gegeben; fast überall werden die Türen noch mit der Hand bedient. Daß die Fahrgäste die Türen öffnen, würde nach seiner Auffassung in New York wegen der damit verbundenen Unfallgefahren und der Höhe der Entschädigungsansprüche ganz unzulässig sein.

Auch das Fahrpreiswesen der Schnellbahnen ist in Europa und Amerika verschieden. Der Einfluß des Münzsystems auf die Fahrpreise wird häufig übersehen. In Amerika ist es die passende Wertstellung der Nickelmünze, die auf die Einführung des Einheitsfahrpreises geradezu hingedrängt hat, und dieser hat wiederum eine überaus einfache Abfertigungsweise ermöglicht. In Europa ist eine so durchgreifende Vereinfachung nicht angängig; hier gibt es keine Münzen, die sich bei einem ausgedehnteren Schnellbahnnetz dem Einnahmedurchschnitt genügend anpassen würden, den die Bahnen erwirtschaften müssen. Das führt zur Staffelung der Fahrpreise. Die in Europa übliche Sonderbehandlung ganzer Klassen von Fahrgästen macht eine Einheitlichkeit der Fahrpreise und die damit verbundenen Abfertigungserleichterungen vollends unmöglich.

Nur in einem Punkt sind die Europäer den New Yorkern voraus: das ist die Art, wie die Fahrgäste über Zugrichtungen, Umsteigepunkte, Zugangs- und Verbindungswege und vieles andere unterrichtet werden, was sich auf die Abwicklung des Verkehrs und die Zurechtweisung der Reisenden auf den Bahnhöfen bezieht. In New York dagegen werden von den Gesellschaften nicht einmal Taschenplänchen ausgegeben, aus denen sich die Reisenden über die Linienführung der Bahnen und die Lage der Bahnhöfe unterrichten könnten.

Daß dem Berichterstatter die große Verbreitung des Motoromnibus in einigen europäischen Großstädten zu denken gab, ist begreiflich. In London werden nicht weniger als 31 vH, in Paris noch 15 vH des Gesamtverkehrs durch Omnibusse bewältigt; in New York dagegen sind es nur 6 vH. Auf die vom Verfasser hervorgehobene Anpaßfähigkeit und sonstige Vorzüge des Omnibus braucht hier nicht näher eingegangen zu werden. Er erblickt die wahre Aufgabe der Omnibusse darin, daß sie andern Verkehrsmitteln als Zubringer dienen, daß sie Zwischenverbindungen herstellen, wo andere Verkehrsmittel fehlen, oder Gleise in den Straßen nicht hergestellt werden können. Aus Straßen dagegen, die mit Straßenbahnen belegt sind, will er sie verbannt wissen, da der Wettbewerb beide Unternehmungen schädige. „Es muß Nachdruck auf die Tatsache gelegt werden, daß alle Verkehrsmittel, Kraftdroschken, Omnibusse, Straßen- und Schnellbahnen ihre besonderen Zwecke haben, und daß jedes dieser Verkehrsmittel auf das ihm eigentümliche Gebiet beschränkt bleiben sollte, wie es sich aus sorgfältigem Studium des gesamten Verkehrsbedürfnisses eines Gemeinwesens ergibt". Der Verfasser begründet diesen Standpunkt durch eine vergleichende Betrachtung der Wesensart und des Zweckes der einzelnen Verkehrsmittel. Es ist hier nicht der Ort, den ausgezeichneten Ausführungen hierüber zu folgen, doch ist hervorhebenswert, daß der Verfasser auf Grund seiner Studien davor warnt, etwa die Straßenbahnen zugunsten des Omnibusbetriebes abbauen zu wollen, höchstens, daß einzelne Linien dem Omnibus überlassen werden könnten. Bei den Schnellbahnen sind die Ausführungen über den dem New Yorker Verkehrswesen eigenen beschleunigten Zugverkehr von besonderem Belange. Dieser ergibt sich als eine Notwendigkeit bei ausgedehnteren Linien, auf denen die Züge vor Erreichung der Innenstadt bereits überfüllt sind. Infolgedessen ist es gegeben, die Züge im Stadtinnern nur an wenigen wichtigen Stellen halten zu lassen, und dies führt dann zu einer vom Ortsverkehr unabhängigen Gleisführung für solche Züge.

Bemerkungen über Fragen des Gemeinbesitzes, Gemeinbetriebes und der behördlichen Überwachung der Verkehrsmittel im allgemeinen beschließen den ausgezeichneten Bericht. Aus dem Studium der Verhältnisse in den von ihm besuchten Großstädten ergibt sich die Bestätigung, daß der Wunsch der Bevölkerung — richtiger wohl der Bevölkerungsvertretungen — dahin geht, bei der Verwaltung und Überwachung der großen öffentlichen Verkehrsanlagen, auf die die Bewohner unter den heutigen Verhältnissen notwendigerweise angewiesen sind, auch selbst mitzusprechen, und es wird vom Verfasser angenommen, daß eine Art der Verwaltung und Überwachung, wie sie das Verkehrsamt für New York vorgeschlagen hat, sich in Europa als gleich erfolgreich erweisen werde. Er will dies anderseits nicht so aufgefaßt wissen, daß er damit auch einer städtischen Betriebsführung das Wort reden wolle, eine Auffassung, der nach den neuesten Erfahrungen in anderen Städten jedermann gewiß durchaus beipflichten wird. [A 142]

Ein neues Verfahren zur Berechnung und Anfertigung selbstspannender Kolbenringe.

Der selbstspannende Kolbenring muß zum Zweck einer einwandfreien Abdichtung in jedem Flächenelement die gleiche Pressung gegen die Zylinderwand ausüben. Die Wege, die beschritten wurden, um diesen Anforderungen zu entsprechen, sind so mannigfaltig, daß es hier zu weit führen würde, sie alle einer eingehenden Kritik zu unterziehen. Es sei nur auf die bekanntesten Herstellungsarten kurz hingewiesen.

Einige bekannte Verfahren zur Herstellung von Kolbenringen.

Das eine Verfahren besteht darin, daß man aus einem Rohling eine Buchse dreht, deren Durchmesser größer ist, als der Durchmesser der Zylinderbohrung. Nach Abstechen werden die einzelnen Ringe ausgeschnitten, zusammengelötet und zur richtigen Größe innen und außen abgedreht. Der Ring hat also zwar Kreisform, wenn er in den Zylinder eingebracht wird, jedoch fehlt ihm die hauptsächlichste Voraussetzung, nämlich die gleichmäßige radiale Pressung gegen jeden Punkt der Zylinderwand. Die Ursachen sind verschiedener Natur.

Dadurch, daß aus dem kreisförmigen Umfang des Ringes ein Stück herausgeschnitten wird und der Ring zu einer nicht mehr kreisförmigen Kurve zusammengepreßt wird, bringt man eine Spannung in das Material, die zur Folge hat, daß an den Stoßenden eine tangentiale Zusatzpressung zu der fraglos auch vorhandenen radialen Pressung tritt, da die Ringenden in ihre frühere Lage zurückstreben. Aus dieser Tatsache ergibt sich, daß die Pressung in der Nähe des Stoßes am stärksten ist und in Rückwirkung darauf auch auf der entgegengesetzten Seite des Ringes, also in der Y-Achse, Abb. 1, dagegen beiderseitig nach der X-Achse zu schwächer wird.

Diese Tatsache ist durch Verschleißmessungen im Zylinder hinlänglich festgestellt und in ihren Auswirkungen in der Praxis zur Genüge bekannt.

Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist anderseits, daß der Werkstoff durch die anzuwendenden Bearbeitungsverfahren Beanspruchungen ausgesetzt ist, die notwendigerweise zu Strukturveränderungen und daher zu Fehlerquellen führen müssen, die nicht mehr mit Sicherheit erfaßt werden können. Diese Unsicherheit wird in der Hauptsache dadurch hervorgerufen, daß der Ring im angespannten Zustand auf richtige Größe abgedreht wird, so daß nach vollendeter Formgebung eine Berechenbarkeit der Elastizitätseigenschaften, wenn überhaupt, so nur in grober Annäherung möglich ist.

Ein andres Verfahren besteht darin, daß die Rohlinge auf die gleiche Größe wie der Zylinderdurchmesser abgedreht werden. Nach dem Abstechen und Aufschneiden werden die Ringe, um sie auf die erforderliche Spannung zu bringen, gehämmert oder gewalzt, und zwar am stärksten gegenüber dem Stoß und zum Stoß hin allmählich schwächer werdend. Dieses verschieden starke Verdichten hat den Zweck, nach den Ringenden hin die Spannkraft zu schwächen.

Ohne Zweifel stellt man nach diesem Verfahren Ringe her, die ein günstigeres Pressungsdiagramm aufweisen, als nach dem oben beschriebenen Verfahren. Anderseits jedoch besteht die gleiche Unsicherheit bezüglich der Berechenbarkeit der Pressung, da durch das Hämmern oder Walzen von Hand oder maschinell wiederum grobe Strukturveränderungen durch Verdichten des Materials hervorgerufen werden, die dem Konstrukteur die Grundlagen für eine genaue Erfassung entziehen. Außerdem erhält der Ring durch das Hämmern oder Walzen im ungespannten Zustand eine Kurve, die weder berechenbar ist, noch zusammenfällt mit der Kurve, die der Ring im freien Zustand annehmen muß, wenn man die radialen Kräfte, die auf ihn wirken, oder die er auf die Zylinderwandung ausübt, entfernt. Vielmehr ist die Kurve mehr zufälliger Art und ergibt sich lediglich aus der Notwendigkeit, in den auf Kreisform abgedrehten Ring die erforderliche Spannung zu bringen. Auch mit diesem Ring erzielt man also keine gleichmäßige Pressung in jedem Flächenelement, und die Pressungsverhältnisse liegen, wenn auch günstiger, so doch ähnlich wie bei dem oben beschriebenen Verfahren. Also auch hier liegt die größte Pressung in der Nähe des Stoßes.

Diese Nachteile der ungleichmäßigen Pressung hat man ferner dadurch auszugleichen versucht, daß man auch auf andre Weise im Kolbenringe zum Stoß hin verlaufend mehr und mehr die Spannkraft abschwächt. Diese Minderung der Spannkraft sucht man z. B. dadurch zu erreichen, daß man die Ringdicke nach den beiden Ringenden hin allmählich schwächer werden läßt. Nach diesem Grundsatz sind die bekannten exzentrischen sowie die genuteten Ringe hergestellt, und es bedarf keiner ausführlichen Erörterung, um klarzulegen, daß ein derartiges Verfahren keinen Anspruch darauf machen kann, weder den theoretischen Grundlagen nach, noch nach der Art der Bearbeitung die Unzulänglichkeiten in der Flächenpressung gegenüber den oben skizzierten Verfahren auszugleichen, ganz abgesehen von den Nachteilen, die die exzentrischen Ringe infolge ihrer ungleichmäßigen Dicke bei ihrer Wirkung in den gleichmäßig tiefen Kolbennuten aufweisen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß alle bisher bekannt gewordenen Herstellungsarten mehr oder weniger eine auf empirischem Wege gewonnene Annäherung darstellen, deren Fehlerquellen sowohl in den oft falschen oder ungenügenden theoretischen Voraussetzungen, als auch in der Art der Bearbeitung liegen, die den Werkstoff unberechenbaren Beanspruchungen unterwirft und Strukturveränderungen hervorruft, die die Homogenität zerstören.

Das Verfahren von Bennet.

Ein sehr interessanter Versuch, die Fehlerquellen zu vermeiden, wurde in letzter Zeit von dem schwedischen Konstrukteur Baron Rutger Bennet unternommen, der sein Verfahren auch bereits in einer Reihe von Kulturstaaten patentamtlich hat schützen lassen[1]). Bennet geht davon aus, daß der Kolbenring, nachdem er aufgeschnitten ist, keiner Bearbeitung mehr unterzogen werden darf, die das Material in höherem Maß anstrengt. Der Ring muß also bereits vor dem Aufschneiden auf eine solche Form abgedreht werden, daß er in eingespanntem Zustande genaue Kreisform annimmt. Diese Voraussetzung ist grundsätzlich nicht neu, und es ist bereits versucht worden, zu beweisen, daß die Kurve, die der Ring in ungespanntem Zustand annehmen soll, der Involute zu einer als Evolute betrachteten Zykloide entsprechen muß, die mittels eines Kreises erzeugt ist, dessen Durchmesser proportional dem Druck ist, den der Ring auf die Zylinderwand ausüben soll. Es läßt sich jedoch nachweisen, daß diese Kurve nicht mit der richtigen Kurve zusammenfällt, da die Annahme, wie diese Kurve entstehen soll, unrichtig ist. Der Kolbenring soll nämlich eine Form annehmen, die dadurch entsteht, daß man den Stoß durch Zwischenklemmen eines Abstandstückes auseinandersperrt.

Bennet dagegen geht bei seiner Berechnung davon aus, daß der Kolbenring, in den Zylinder eingespannt, dessen kreisrunde Form angenommen hat, sowie auch gegen jeden Punkt der umschließenden Zylinderwand eine unveränderte radiale Pressung ausübt. Von dieser Voraussetzung aus sucht er die Form desselben Kolbenringes im freien Zustande, d. h. die Kurve, die dessen Mittellinie bildet, wenn die

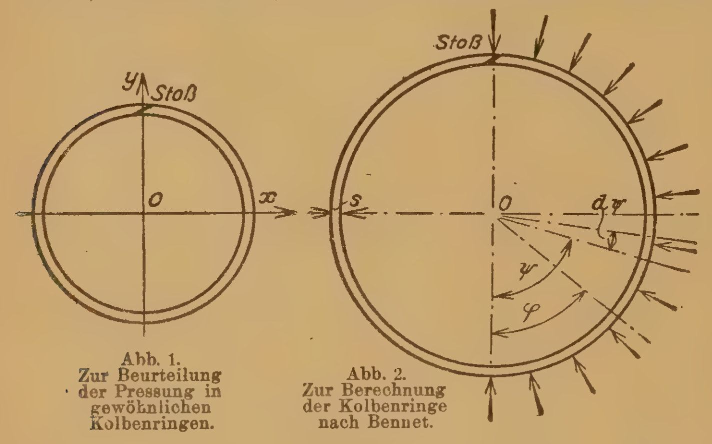


Abb. 1. Zur Beurteilung der Pressung in gewöhnlichen Kolbenringen.

Abb. 2. Zur Berechnung der Kolbenringe nach Bennet.

radialen Kräfte entfernt sind. Diese Kurve ist bekannt, wenn der Krümmungshalbmesser der Mittellinie des ungespannten Ringes in einem beliebigen Querschnitt bestimmt worden ist, da die Bogenlänge der Mittellinie des ungespannten Ringes der Bogenlänge der Mittellinie des eingespannten Ringes notwendigerweise gleich sein muß.

In großen Zügen baut sich die Berechnung folgendermaßen auf: Wenn

- r_1 den Krümmungshalbmesser der Mittellinie des ungespannten Ringes in einem beliebigen Querschnitt,
- r den Krümmungshalbmesser der Mittellinie des eingespannten Ringes an derselben Stelle,
- M das Biegungsmoment, das den Ring im genannten Querschnitt beansprucht,
- Θ das Trägheitsmoment desselben Querschnittes, das für M in Betracht kommt,
- a die Dehnungszahl des Ringmaterials

bedeutet, so ist unter der Voraussetzung, daß die Höhe des Querschnittes im Verhältnis zum Krümmungshalbmesser gering ist,

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \mathrm{d}\,\frac{M}{\Theta} \quad \ldots \ldots \ldots (1).$$

Weiter geht Bennet davon aus, daß die Federung des Ringes nach außen hin in jedem Punkt denselben Wert p haben soll, und daß die Ringdicke so klein im Verhältnis zu r ist, daß r gleich dem Halbmesser der Zylinderbohrung gesetzt werden kann. Dann wird für den durch den Mittelpunktswinkel φ bestimmten Querschnitt, Abb. 2:

$$M = \int_{\varphi}^{\pi} p\,h\,r\,r \sin(\psi - \varphi)\,\mathrm{d}\psi = p\,h\,r^2\,(1 + \cos\varphi) \quad \ldots (2),$$

wobei h die Höhe des Ringes ist. Setzt man diesen Wert in Gl. (1) ein, wobei $\Theta = \frac{1}{12}\,h\,s^3$ ist, so ergibt sich:

$$r_1 = \frac{s^3\,r}{s^3 - 12\,p\,r^3\,a\,(1 + \cos\varphi)} \quad \ldots \ldots (3).$$

Gl. (3) gibt den Krümmungshalbmesser an, den die vom ungespannten Ringe gebildete Kurve in jedem Punkt haben soll, damit er im eingespannten Zustande Kreisform annimmt.

Dieser Krümmungshalbmesser stimmt nicht mit dem Abstande des fraglichen Punktes von O überein. Diesen Abstand berechnet Bennet für jeden Punkt aus der Gleichung, die er durch Integration folgender Differentialgleichung erhält:

$$\frac{\dfrac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}x^2}}{\left[1 + \left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{s^3 - 12\,p\,r^3\,a\left[1 + \dfrac{\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}}{\left[1 + \left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}\right)^2\right]^{1/2}}\right]}{s^3\,r}.$$

Auf diese Weise ist man in der Lage, eine Kurve aufzuzeichnen, die den genannten Bedingungen entspricht. Die für die Anfertigung der Ringe nötigen Größen werden danach durch rein mathematische Ableitungen festgestellt. Für die Fabrikation sind diese Werte in sehr einfach zu handhabenden Zahlentafeln zusammengestellt.

Praktisch werden die Ringe auf der Drehbank mit Hilfe einer Schablone hergestellt, deren Umgrenzung Punkt für Punkt nach folgender Gleichung bestimmt wird:

$$R_\varphi = R_\pi + a\,(\varrho_\varphi - \varrho_\pi) \quad \ldots \ldots \ldots (4);$$

darin ist

- R_φ der Halbmesser der Schablone in einem beliebigen Punkte, d. h. gleich dem Abstand dieses Punktes vom Mittelpunkt,
- R_π der kleinste Halbmesser der Schablone, der so groß gewählt werden kann, wie die Abmessungen der Drehbank es zulassen, was für die Genauigkeit des erzielten Ergebnisses von Bedeutung ist,
- a ein Beiwert, der ein Verhältnis ausdrückt, auf dessen Größe auch die Genauigkeit beruht, insofern, als diese mit a wächst,
- ϱ_φ der Halbmesser des Kolbenringes in einem $R\varphi$ entsprechenden Punkt, ausgerechnet nach Gl. (4),
- ϱ_π der kleinste Halbmesser des Kolbenringes, der mit dem Halbmesser der Zylinderbohrung übereinstimmt.

Mit Halbmesser ist nicht der Krümmungshalbmesser, sondern der Abstand des fraglichen Punktes von O gemeint.

Ist a für einen Ring bestimmt, so kann dieser Beiwert für jeden beliebigen andern Ring nach der Gleichung

$$a = \frac{R_\varphi - R_\pi}{\varrho_\varphi - \varrho_\pi} \quad \ldots \ldots \ldots (5)$$

berechnet werden, wobei man ϱ_φ aus den Eigenschaften erhält, die man dem Ring zu geben beabsichtigt. Daraus ergibt sich, daß es lediglich einer Veränderung des Beiwertes a bedarf, um mit der gleichen Schablone jeden beliebig großen Ring, soweit ihn die Drehbank fassen kann, herzustellen.

Die praktische Durchführung des Bennetschen Verfahrens ermöglicht eine denkbar einfache Fabrikation, die sich, soweit es sich bisher übersehen läßt, billiger gestaltet, als die bisher üblichen Herstellverfahren.

Um seinen Ring praktisch zu erproben, hat Bennet eine Reihe von Versuchen angestellt, die augenscheinlich ein durchaus günstiges Ergebnis aufweisen. Bemerkenswert ist unter den Versuchsberichten vor allem ein Bericht, der einen Versuch an einer schwedischen Staatsbahnlokomotive zum Gegenstand hat.

Das Ergebnis sei hier kurz mitgeteilt:

Die Lokomotive, eine Heißdampfverbund-Schnellzuglokomotive, ist in der Versuchzeit 80 000 km gelaufen. Die Messungen wurden in der Mitte der Zylinder ausgeführt. Der rechte Hochdruckzylinder wurde zum Vergleich mit gehämmerten Ringen ausgerüstet. Das Untersuchungsergebnis, festgestellt in den Lokomotivwerkstätten der schwedischen Staatseisenbahn in Ulrigsdal bei Stockholm, lautet:

Tag	linker H.-D.-Zyl. mit Bennetringen		rechter H.-D.-Zyl. mit gehämmerten Ringen	
	wagerecht mm	senkrecht mm	wagerecht mm	senkrecht mm
14. 7. 22 . . .	420,58	420,34	420,35	420,39
26. 9. 22 . . .	420,59	420,44	420,36	420,49
15. 1. 23 . . .	420,59	420,44	420,36	420,54
Abnutzung insgesamt	0,01	0,01	0,01	0,15

Während also die Bennetringe die Form des Zylinders bewahrt haben, haben die gehämmerten Ringe infolge ihrer ungünstigen Pressungsverhältnisse den Zylinder in der senkrechten Richtung um den 15fachen Betrag ausgeschliffen.

„Ferner hat Bennet an einer großen Zahl von Kolbenmaschinen aller Größen und Gattungen seine Erfindung ausprobiert, und die vorliegenden Ergebnisse berechtigen durchaus zu dem Schluß, daß die praktische Wirkung der Bennetringe den in sie gesetzten Erwartungen entspricht. Es unterliegt nach genauer Prüfung aller angewandten Gleichungen keinem Zweifel, daß die Berechnung, die sich auf bekannten Naturgesetzen folgerichtig aufbaut, in theoretisch richtiger Weise durchgeführt ist. Da auch die gemachten Voraussetzungen einwandfrei sind und anderseits eine genaue und billige Massenherstellung auf keine Schwierigkeiten stößt, dürfte die Bennetsche Erfindung aller Voraussicht nach eine wertvolle Verbesserung auf dem Gebiete der selbstspannenden Kolbenringe bedeuten. [R 136] Dr. Otto Pollert.

[1]) Schwedisches Patent 56 464. Englisches Patent 193 214.

Erfahrungen und Forderungen des praktischen Kesselbetriebes.

Von Dr.-Ing. M. Guilleaume, Merseburg.

(Schluß von S. 193.)

Im Forschungsheft Nr. 1 des Vereines deutscher Ingenieure vom Jahre 1901 berichtet Bach über „Die Temperaturveränderungen im Innern eines Lokomotivkessels während der Anheizperiode". Der Bericht enthält ganz ähnliche Beobachtungen. Bach folgert daraus, daß der Konstrukteur durch entsprechende Maßnahmen die für den Bestand des Kessels nachteiligen Temperaturunterschiede herabzudrücken habe.

Alle diese Versuche beziehen sich auf Vorgänge während des Anheizens. Sie waren daher zu ergänzen durch Messungen während des Betriebes. Ferner mußte man versuchen, nicht nur die Art der Spannung, sondern auch ihre Größe kennen zu lernen. Jede Änderung in der Lage der Trommeln gegeneinander infolge ungleichmäßiger Temperatur ruft Verspannungen hervor, die Biegungen der Siederohre und Formänderungen der Kesselkörper erzeugen, deren Größe von der Elastizität der Rohrbündel abhängt. An einer Reihe von beschädigten Kesseltrommeln wurde festgestellt, daß sie nicht unerheblich von der Kreisform abwichen und sich abgeplattet hatten.

Eines unserer Mitglieder erstreckte die Versuche hierauf, und zwar an einem besonders dazu eingerichteten Versuchskessel und im regelmäßigen Betriebe. Als Versuchskessel stand ein Garbekessel von 640 m² Heizfläche nach neuerer Bauart zur Verfügung. Die früher steifen Verbindungsrohre der Unterkessel waren durch zahlreiche Verbindungsrohre von kleinem Durchmesser ersetzt, wodurch die Verbindung nachgiebiger wurde. Außerdem waren Doppellaschennietungen statt der überlappten verwendet. Der Kessel blieb nach fertiger Aufstellung ohne Mauerwerk, so daß er in allen seinen Teilen bequem zugänglich war. Um dem Betrieb ähnliche Temperaturverhältnisse zu schaffen, baute man in die erste Siederohrreihe Dampfdüsen ein, womit man das Wasser erwärmen, gleichzeitig aber auch einen Wasserkreislauf im Kessel hervorrufen konnte. Auf diese Weise sollte der Kessel in einem dem Betrieb ähnlichen Zustand untersucht werden können.

Die Messung der Formänderungen der Kesseltrommeln erschien am wichtigsten. Sie ergaben bei der vorderen Untertrommel eine mit steigendem Druck zunehmende geringe Abflachung der Kreisform. Um Festpunkte für die Messungen zu erlangen, hatte man um die Trommel einen Ring herum gebaut, den man zur Ausschaltung von Temperatureinflüssen mittels durchströmenden Wassers auf gleicher Temperatur hielt. Es zeigte sich aber, daß diese Messungen und besonders das Übertragen der gemessenen Abstände auf Zeichenpapier keine brauchbaren Ergebnisse lieferte, selbst dann nicht, wenn sehr empfindliche Meßgeräte verwendet wurden. Schon die Einflüsse von Temperatur und Feuchtigkeit auf das Zeichenpapier können von einem zum anderen Tage die Meßergebnisse vollkommen verderben. Es wurde daher ein anderes Meßverfahren gewählt.

Abb. 37 und 38 zeigen eine Meßeinrichtung, die sich in der letzten Zeit besonders bei Messungen im Betriebe vorzüglich bewährt hat. Zwischen zwei Spitzen, die in die Trommel eingeklemmt werden, sitzt ein Hohlzylinder mit Kolben. Der Innenraum des Zylinders ist durch ein Röhrchen, welches durch den Trommelboden nach außen führt, mit einem U-Rohr verbunden, die andre Seite des U-Rohres führt von da zurück in das Kesselinnere. Im Innern des Zylinders herrscht also derselbe Druck wie außen. Das außerhalb des Kessels befindliche U-Rohr enthält eine Meßflüssigkeit, etwa Tetrachlorkohlenstoff, welche eine scharfe Trennungslinie gegen Wasser ergibt. Ändert sich der Durchmesser der Trommel in der Achse des Meßgerätes, dann verschiebt sich der Kolben im Meßzylinder entsprechend dieser Veränderung, wobei eine starke Übersetzung eintritt; 0,1 mm Durchmesser-Veränderung der Trommel entsprechen 60 mm Verschiebung im U-Rohr. Man kann also die Durchmesser-Veränderungen mit großer Genauigkeit ablesen.

Beim Anwärmen der Trommel mit dem eingebauten Meßgerät muß infolge der Erwärmung eine Verschiebung der Meßflüssigkeit im U-Rohr eintreten. Um diesen Einfluß auszuschalten, wurde neben der eigentlichen Meßvorrichtung eine zweite eingebaut, deren Spitzen jedoch nicht an die Kesselwand heran-

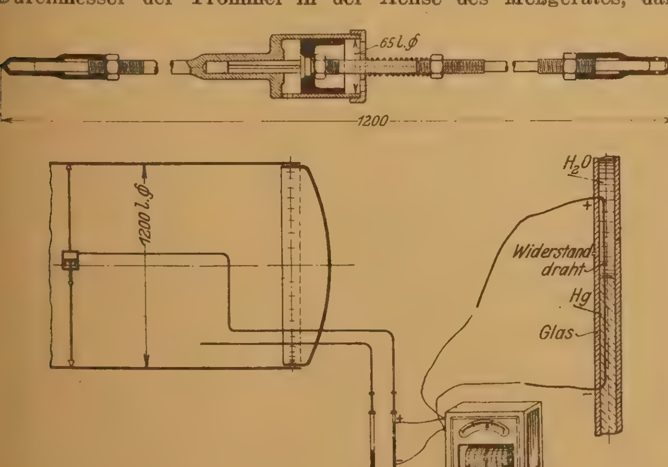


Abb. 37 und 38. Meßvorrichtung für Dehnungen der Durchmesser von Kesseltrommeln mit Aufzeichnung.

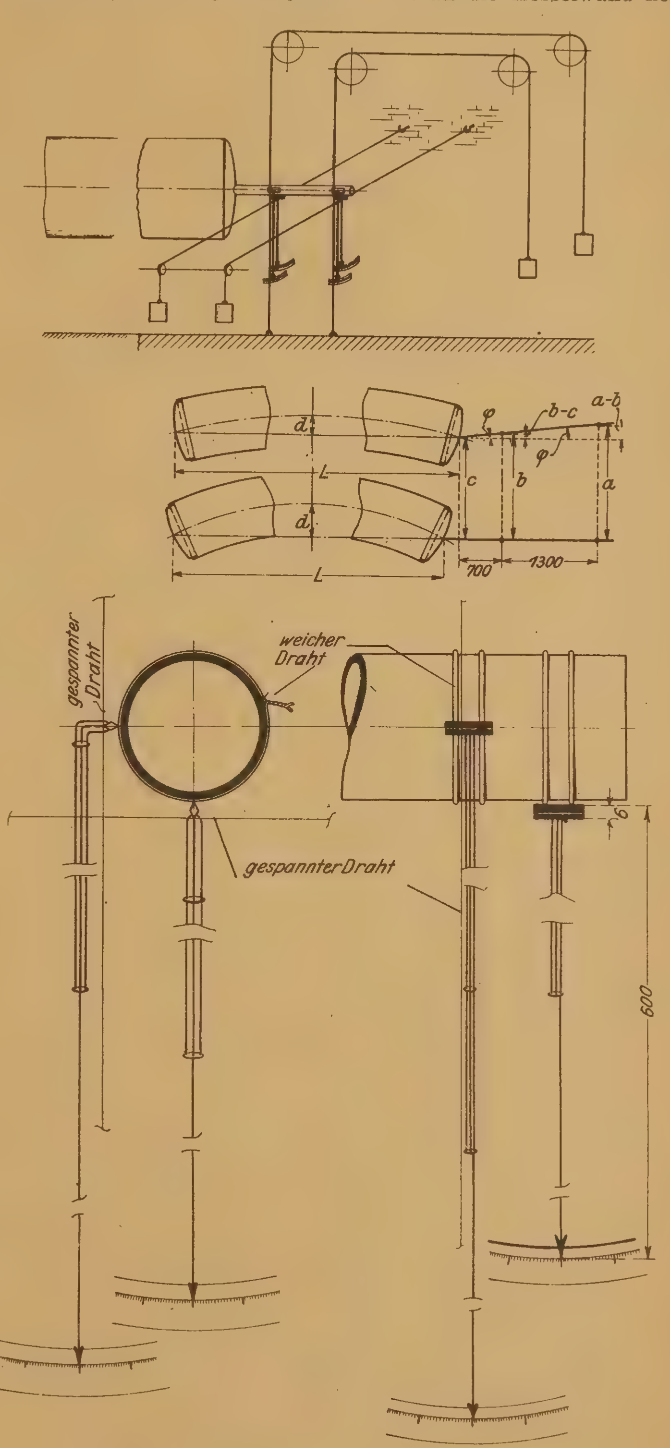


Abb. 39 bis 42. Meßvorrichtung für Trommelbewegungen.

Zu Abb. 40.

1. $\frac{a-b}{1300} = \operatorname{tg}\varphi$

2. Für Parabel

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{4\,\mathrm{d}}{l} = \frac{4\,\mathrm{d}}{8000}$$

$$\mathrm{d} = \frac{8000}{4} \cdot \frac{(a-b)}{1300}$$

3. $\operatorname{tg}\varphi = \frac{b-c}{700}$

$$c = b - 700 \operatorname{tg}\varphi$$

$$c = b - \frac{700\,(a-b)}{1300}$$

reichen. Die Angaben dieser Vorrichtung sind dann als Temperatureinflüsse von denen der eingeklemmten abzuziehen. Diese Einrichtung eignete sich besonders auch zu Messungen an einem in Betrieb befindlichen Kessel. Zu diesem Zweck wurde noch eine Schreibvorrichtung angebracht.

Außer der Durchmesser-Veränderung der Trommel wurde die Verlängerung der Längsachse der Trommel und ihre Lagenverschiebung gemessen. Die Meßeinrichtungen hierfür sind in Abb. 39 bis 42 dargestellt. Eine in der Mitte des Trommelbodens fest angebrachte Stange hat zwei Zeiger, die sich an einem festgespannten Draht vorbeibewegen, wenn sich die Trommel bewegt, und dadurch verstellt werden, Abb. 39. Bewegt sich z. B. die ganze Trommel senkrecht zur Achse, dann schlagen beide Zeiger aus und ergeben gleiche Ausschläge. Damit ist eine Verschiebung der Trommel wagerecht festgelegt. Ein weiteres Zeigerpaar gibt die senkrechte Bewegung der Trommel an. Tritt eine Durchbiegung der Trommel ein, so zeigt der nach innen liegende Zeiger

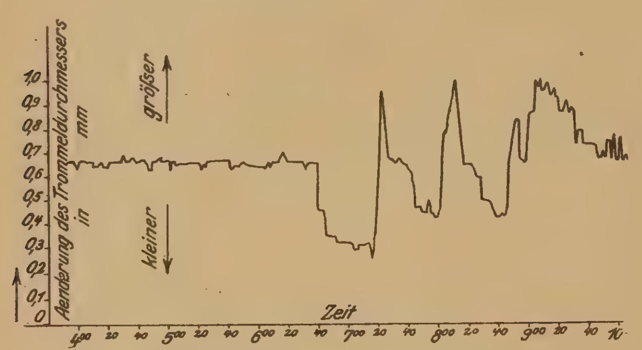


Abb. 43. Veränderung des Trommeldurchmessers im normalen Betrieb, gemessen an einer Untertrommel.

einen kleineren Ausschlag als der nach außen liegende. Man kann dann nach der unten für Abb. 40 entwickelten Formel die Durchbiegung der Trommelachse berechnen. Die Zeiger sind an einem Prisma befestigt, Abb. 41, dessen zwei scharfe Kanten einander gegenüberliegen. Die eine Kante greift in das Rohr ein, welches in der Mitte der Trommel befestigt ist, die andre Kante wirkt auf den gespannten Draht. Zu beachten ist, daß unter Umständen auch Schwankungen des ganzen Gebäudes die Messungen beeinträchtigen können.

Abb. 43 zeigt eine Aufnahme mittels des beschriebenen Durchmesser-Meßgerätes während des Betriebes. Diese Veränderungen des Trommel-Durchmessers sind in Abb. 44 mit dem Kesseldruck in Zusammenhang gebracht; einer starken Änderung des Kesseldruckes entspricht eine sprunghafte Änderung des Durchmessers.

Abb. 45 zeigt außerdem, daß sich auch in dem Augenblick, wo der Kessel hochgespeist wurde, der Trommeldurchmesser sprunghaft vergrößert hat, obgleich gleichzeitig unter dem Einfluß der Abnahme der Wassertemperatur der Kesseldruck gesunken war. Abb. 46 soll die einzelnen Einflüsse, die auf die Durchmesser-Veränderung wirken, zusammenfassen. Die dick gezeichnete Kurve zeigt den Trommeldurchmesser und seine Veränderung. Nach normalem Betrieb des Kessels hat man zunächst in einem bestimmten Zeitpunkt die Zugstärke vermindert, d. h. man hat den Kessel zugelegt. Mit der Zugverminderung setzt auch eine Vergrößerung der Trommeldurchmesser ein. Ferner biegt sich die Trommelmitte durch, d. h. ihre Durchbiegung ändert sich sprunghaft, sie verkleinert sich gleich nach dem Zulegen des Kessels. Dies ist damit zu erklären, daß, wie man auch schon im Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk festgestellt hat, die untere Trommel unter dem Einfluß der ungleichmäßigen Erwärmung einen Bauch nach oben bekommt, der sich bei Abnahme der Gastemperatur vermindert.

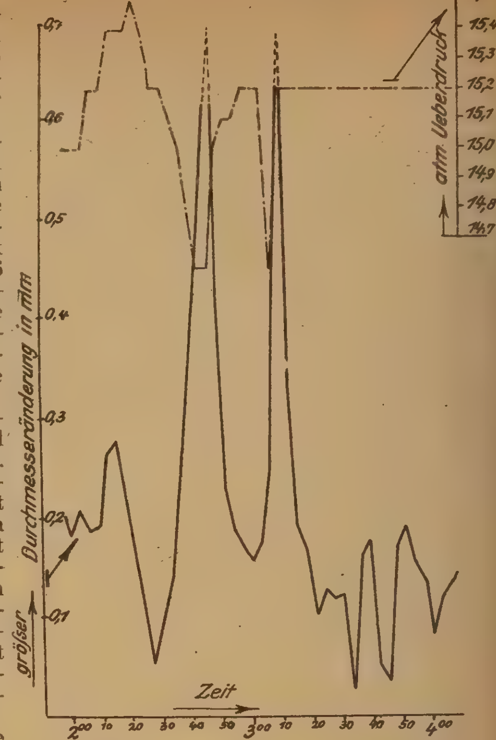


Abb. 44. Beziehungen zwischen Durchmesser und Kesseldruck einer Untertrommel.

Man hat also nicht nur beim Anheizen, sondern auch im normalen Betrieb Formänderungen des Kessels beobachtet, die mit zusätzlichen Spannungen verknüpft sind. Wenn diese auch an den untersuchten Systemen nicht so groß wie beim Anheizen sind, so ist doch im Betriebe der häufige, stoßweise Wechsel der Spannungen von Bedeutung. Es wäre zu prüfen, ob damit nicht ähnliche Erscheinungen wie bei Dauerschlagversuchen verbunden sind.

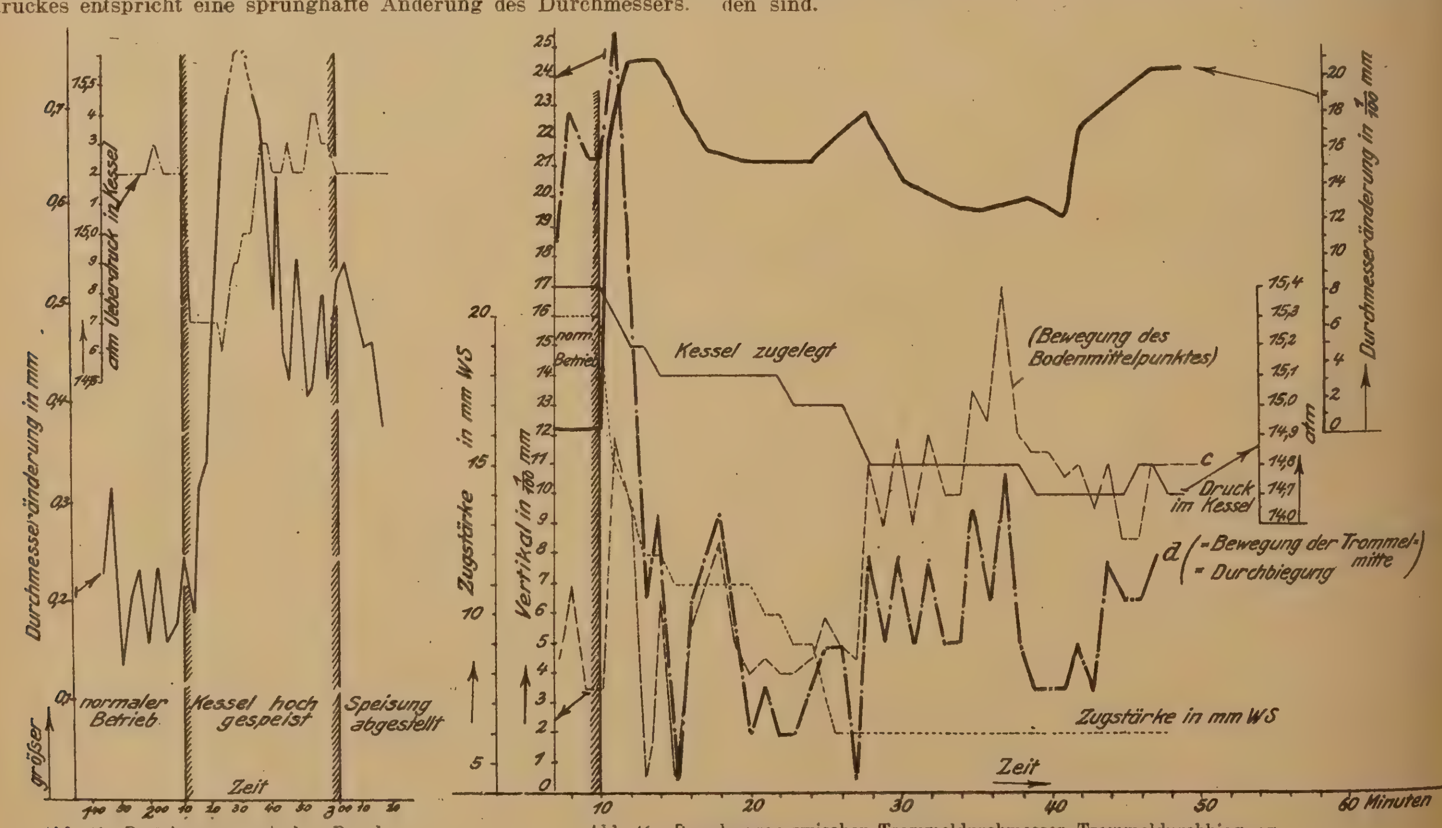


Abb. 45. Beziehungen zwischen Durchmesser, Speisung und Kesseldruck einer Untertrommel.

Abb. 46. Beziehungen zwischen Trommeldurchmesser, Trommeldurchbiegung, Feuerführung und Bewegung des Bodenmittelpunktes, gemessen an einer Untertrommel.

Auch über die Größe der zusätzlichen Materialbeanspruchung, die durch diese Formänderungen an irgend einem Punkte, etwa der Nietnaht, dadurch hervorgerufen wird, sind Versuche im Gang. Der Weg der Messungen soll folgender sein:

Die Formveränderung, z. B. die Abplattung einer Trommel, ruft in der Nietnaht eine Biegungsbeanspruchung hervor, die einer Zug- oder Druckbeanspruchung oder Verlängerung oder Verkürzung der äußeren Faser entspricht. Man versucht nun im gefährlichsten Querschnitt, also etwa in der Nietnaht, in der Verbindungslinie der Mitten der Nietlöcher die eintretende Verlängerung oder Verkürzung zu messen. Hierfür gibt es sehr gut ausgebildete Methoden, bei denen die Längenänderungen sehr kleiner Meßstrecken durch Winkelmessungen mit Hilfe schwingender Spiegel gemessen werden. Diese Messungen werden mit den vorhin beschriebenen Durchmessermessungen in Beziehung gebracht. Es ist naturgemäß nicht möglich, diese Messungen im Betrieb auszuführen. Dazu kann aber ein Versuchskessel nach Art des oben beschriebenen dienen. Kennt man aber einmal den Zusammenhang, so scheint es wohl möglich, aus den im Betrieb

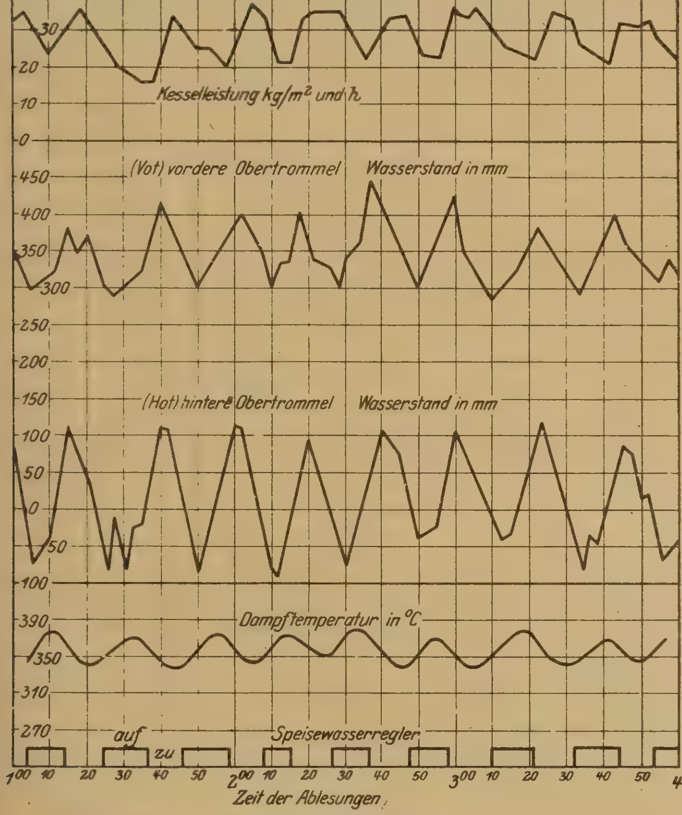


Abb. 47. Charakteristik eines Wasserstandversuches mit normalem Speisewasser (Bau ME 4 K 3).

festgestellten Durchmesseränderungen auf die Größe der damit verbundenen Materialbeanspruchung zu schließen.

Einzelheiten über diese Versuche müssen einem besondern Bericht überlassen bleiben. Der praktische Betriebsmann zieht aus diesen Versuchen folgende Schlüsse:

1) Bei Herstellung neuer Kessel auf größte Elastizität der Konstruktion zu achten,
2) bei vorhandenen Kesseln die Wirkung der Wärmespannungen zu prüfen und, wenn nötig und möglich, durch Änderung der Bauart zu beseitigen,
3) Kessel mit schnellstem Temperaturausgleich, also bestem Wasserkreislauf, zu wählen,
4) für möglichst gleichmäßigen Wärmeübergang zu sorgen,
   a) durch gleichmäßige Dampfentnahme,
   b) durch gleichmäßige Dampferzeugung,
   c) durch gleichmäßige Speisung,
5) beim Anheizen und Abstellen der Kessel mit Vorsicht zu verfahren.

Diese Schlußfolgerungen dürften für den Betrieb von Hochdruckdampfkesseln noch weit wichtiger als bei den heute üblichen Drücken sein. Die hohen Temperaturen beim Hochdruckkessel verstärken die Spannungen infolge von Temperaturunterschieden in hohem Maße.

Die Forderung, beim Anheizen und Abstellen der Kessel mit Vorsicht zu verfahren, könnte zu der Annahme verführen, daß sich der Kesselbesitzer mit dem mangelhaften Temperaturausgleich beim Anheizen abfinden muß; hat man doch schon für Steilrohrkessel 12 Stunden Anheizzeit und mehr gefordert. Dies ist aber zwecklos, weil keine noch so lange Anheizzeit den schlechten Temperaturausgleich beseitigen kann. Die großen Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Kesselteilen gleichen sich vielmehr an solchen Kesseln immer erst bei Beginn der Dampfabgabe aus. Lange Anheizzeit verschlechtert ferner die Wirtschaftlichkeit infolge der Erhöhung des Kohlenverbrauchs beim Anheizen. Die Bedeutung des Anheiz-Kohlenverbrauchs, insbesondere bei Kraftwerken, deren Belastungskurve eine deutlich ausgeprägte Spitze zeigt, ist bekannt.

Also bleibt nur übrig, mit irgendwelchen Hilfsmitteln den Wasserkreislauf beim Anheizen zu verstärken.

Vorzügliche Mittel zur Vermeidung von Materialspannungen infolge von Temperaturunterschieden sind ein kräftiger Wasserkreislauf und eine einwandfreie, dem Dampfverbrauch stets angepaßte Speisung. Es ergibt sich daher von selbst, daß die Versuche über den Einfluß der Temperaturschwankungen auf die Materialbeanspruchungen auch zu Untersuchungen über **Wasserkreislauf** und die **Speisevorrichtungen** führten.

In einer Anlage war man gezwungen, die Leistung der verfügbaren Kessel möglichst hoch zu treiben. Bei den Hanomag- und dem Waltherkessel trat bereits bei etwa 30 kg/m² Dampfleistung starkes Spucken und gleichzeitig eine Störung des sonst vorzüglich arbeitenden Hannemann-Reglers ein. Der Hannemann-Regler bedingt seinem Grundgedanken nach ununterbrochenen Zutritt des Speisewassers. Das Reglerventil stellt sich abhängig vom Wasserstand (Schwimmer im Kesselwasser) so ein, daß gerade die Wassermenge zugespeist wird, die verdampft. Bei hoher Dampferzeugung des Kessels muß eine entsprechend größere Speisewassermenge zugespeist werden, also der Schwimmer, der das Speiseventil betätigt, und mithin auch der Wasserstand tiefer als bei niedriger Leistung stehen. Wenn der Reibungswiderstand der Übertragungsteile des Schwimmers gering ist und das Übersetzungsverhältnis der Hebel passend gewählt wird, dann kann man diese Schwankung des Wasserstandes zwischen höchster und niedrigster Leistung auf wenige Zentimeter beschränken.

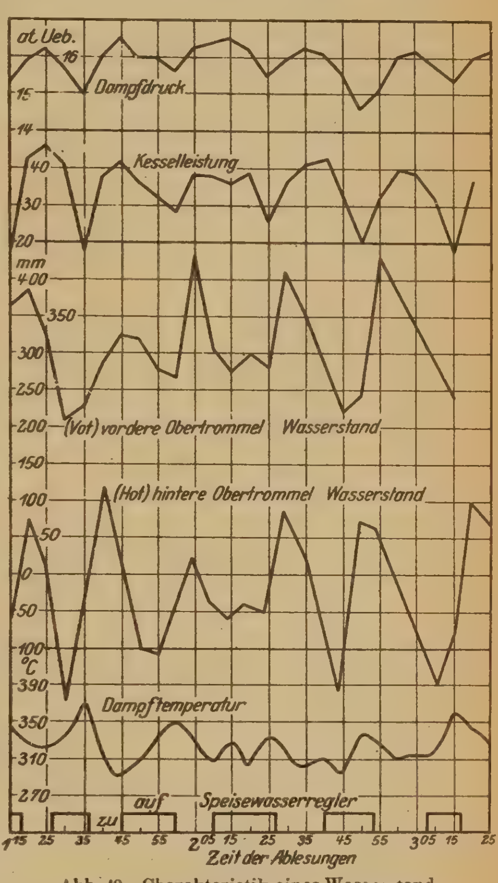


Abb. 48. Charakteristik eines Wasserstandversuches mit normalem Speisewasser (Bau ME 244 K 5, 8. Dez. 1921).

An den beiden Kesselsystemen arbeitete nun bei 28 bis 30 kg/m² Dampfleistung der Regler nicht mehr gleichförmig, sondern mit häufigen, in ziemlich regelmäßigen Zeitabständen eintretenden Unterbrechungen, s. Abb. 47 und 48, die auch die Leistung des Kessels, den Kesseldruck sowie die Temperatur des Dampfes beeinflußten. Gleichzeitig wurden aber die Wasserstände im Vorder- und Hinterkessel beobachtet. Auffällig ist der verhältnismäßig große Unterschied in diesen Wasserständen.

Zunächst ist zu bemerken, daß stets zu einem Tal der Wasserstandkurve ein Berg bei der Kurve der Reglerbetätigung gehört, ebenso stimmen die Temperaturschwankungen vollkommen mit der Reglerbetätigung überein; sie hinken infolge der Zeit für den Wasserumlauf etwas nach, da jedem Steigen des Reglers, also jedem Eintritt von kaltem Wasser, ein Absinken der Dampftemperatur und des Druckes folgt. Längere Zeit blieben alle Versuche, diese eigenartige Erscheinung, die stets mit einer bestimmten Leistung, bei 28 bis 30 kg/m² eintrat, zu erklären, ergebnislos. Der große Unterschied in den Wasserständen der Vorder- und der Hintertrommel gab aber Veranlassung, dem Wasserumlauf im Kessel einmal allgemein nachzugehen. Zu diesem Zweck wurden in einzelne Siederohre Drosselscheiben eingebaut und die Ausschläge der mit den Drosselscheiben verbundenen Differentialmanometer bei verschiedenen Belastungen des Kessels beobachtet. Das ergab dann sehr bald die Erklärung für das eigenartige Verhalten des Reglers.

In Abb. 49 ist eine Versuchsreihe aufgetragen. Ganz unten zeigt die Kurve des Reglers wieder die eigenartigen Schwankun-

gen. Die Leistung des Kessels bewegt sich um etwa 30 kg/m² herum. Der Ausschlag des Differentialmanometers einer Drosselscheibe, die in dem Rohrbündel von der unteren vorderen Trommel zur oberen hinteren Trommel eingebaut ist, schwankt in recht guter Übereinstimmung mit der Reglerkurve, und zwar wird der Nullpunkt regelmäßig überschritten. Das beweist, daß eine Umkehrung der Bewegungsrichtung des Wassers in diesen Rohren stattgefunden hat. Die Erklärung für die unterbrochene Tätigkeit des Reglers ist nunmehr einfach:

Die Leistung des Kessels steigt und erreicht etwa 30 kg/m². In diesem Augenblick ist die freigemachte Wassermenge so groß, daß die vorderen Rohrbündel zu ihrer Abkühlung nicht genügen, und im Rohrbündel von vorn unten nach hinten oben Dampfbildung eintritt. Die aufsteigenden Dampfblasen treiben das Wasser, das bisher nach unten floß, vor sich her, eine gewisse Pumpenwirkung setzt in diesen Rohren ein, und es erhält zunächst der Wasserinhalt des hinteren Oberkessels eine wesentlich andere, höhere Temperatur. Gleichzeitig steigt das Wasser infolge der ganz andern Verteilung in der hinteren Obertrommel hoch. Der Schwimmer des Reglers macht diese aufwärts steigende Bewegung des Wassers zunächst nicht mit, sinkt vielmehr tiefer ein, weil das Wasser höhere Temperatur, also kleineres spezifisches Gewicht hat. Infolgedessen öffnet sich das Speiseventil weiter. Das Ansteigen des Wassers unter diesen Einflüssen kann soweit gehen, daß der Kessel spuckt. Beim Eintritt erheblicher Mengen von kaltem Wasser durch die Speiseleitung sinkt nun die Temperatur des Wasserinhaltes rasch. Dadurch wird das spezifische Gewicht des Wassers erhöht, der Auftrieb des Schwimmers wird kräftiger, er steigt plötzlich und schließt das Speiseventil ab. Unter dem Einfluß der niedrigen Wassertemperatur hört auch die Dampfentwicklung in der Rohrreihe von vorn unten nach hinten oben auf, das Wasser fließt in dieser Rohrreihe wieder von oben nach unten, der Wasserstand sinkt in der hinteren Obertrommel. Allmählich beginnt wieder eine Temperatursteigerung des Wassers und eine Steigerung der Leistung des Kessels, die vorher bei dem reichlichen Eintritt kalten Speisewassers herabgesunken war. Sobald wieder Dampfbildung in der Rohrreihe von vorn unten nach hinten oben eintritt, beginnt das Spiel von neuem.

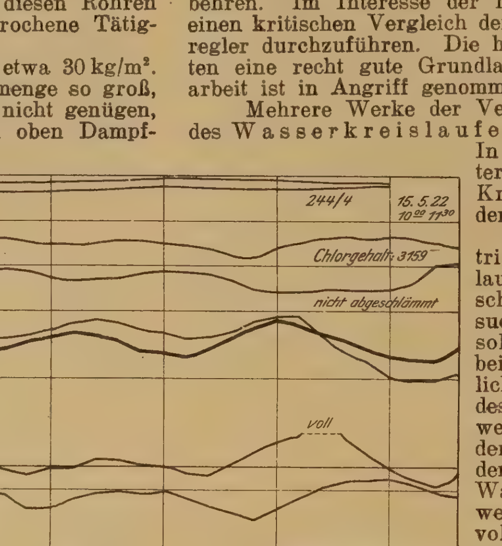


Abb. 49. Wasserumlauf an einem Hanomag-Steilrohrkessel.

Die Ursache für das stoßweise Arbeiten des Wasserstandreglers ist also eine Eigentümlichkeit des Kessels. Derartige Temperatur- und Leistungsschwankungen eines Kessels schaden seinem Bestande, weil sich daraus dauernd wechselnde Materialbeanspruchungen herleiten. Indem man den Schwimmer aus dem eigentlichen Oberkessel heraus in einen damit verbundenen Topf brachte, gelang es, den Einfluß des Kessels auf den Schwimmer zu beseitigen und eine ununterbrochene Speisung des Kessels herbeizuführen.

Es sei beiläufig erwähnt, daß es der Kesselerbauerin durch zweckmäßige Umgestaltung der Bauart gelungen ist, den verhältnismäßig großen Wasserstandunterschied zwischen der vorderen und hinteren Obertrommel zu beseitigen und dadurch auch von dieser Seite aus das unangenehme Spucken des Kessels zu bekämpfen, so daß man heute mit dem geänderten Kessel ohne Störung auf beliebig hohe Leistung gehen kann.

Je kleiner die Wasseroberfläche im Verhältnis zum Wasserinhalt und je höher der Kessel ist, desto empfindlicher muß der Speiseregler sein. Unbedingt zuverlässig arbeitende Speiseregler sind heute schon ein dringendes Erfordernis. Eine zweckmäßige Speisung kann man schon heute in größeren Kesselanlagen nicht mehr mit der Hand durchführen, wenn auch das Gesetz den Kesselwärter verpflichtet, für richtigen Wasserstand des Kessels zu sorgen. Beim Hochdruckkessel, der noch kleinere Wasserräume enthalten soll, ist die selbsttätige Speisung nicht zu entbehren. Im Interesse der neuen Bestrebungen liegt es daher, einen kritischen Vergleich der zurzeit vorhandenen Speisewasserregler durchzuführen. Die hier bekanntgegebenen Versuche bieten eine recht gute Grundlage dafür. Eine solche Vergleichsarbeit ist in Angriff genommen.

Mehrere Werke der Vereinigung haben auch das Studium des W a s s e r k r e i s l a u f e s ihrer Kesselsysteme aufgenommen. In einiger Zeit werden wohl die bekannteren Kesselsysteme bezüglich ihres Kreislaufes eingehend untersucht worden sein.

Im Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk hat man den Wasserkreislauf an Garbekesseln, die aus zwei verschiedenen Fabriken stammen, untersucht und hierbei festgestellt, daß bei solchen Kesseln von 600 m² Heizfläche bei starker Leistung eine außerordentlich starke Absenkung des Wasserstandes im hinteren Oberkessel eintritt, wenn man den Wasserstand in der Vordertrommel dauernd 4 bis 8 cm über dem niedrigsten Wasserstand hält. Der Wasserstand im Hinterkessel sinkt so weit, daß das Wasser aus der Trommel vollständig verschwindet und die Einwalzstellen der Siederohre in der hinteren Obertrommel freigelegt werden. Die hintere Obertrommel kann sich dann unzulässig erwärmen. Beim Fallen der Leistung tritt sodann ein Ausgleich des Wasserstandes ein, und die vorher heißgewordenen Teile des Kessels werden plötzlich abgeschreckt. Es besteht daher die Gefahr, daß sie örtlich geschädigt werden, ferner entstehen durch die großen Temperaturunterschiede im ganzen System Wärmespannungen, die zusätzliche Beanspruchungen in Nietnähten oder sonstigen Stellen des Kessels zur Folge haben.

Über ähnliche Versuche berichtete man auch aus dem Großkraftwerk Franken[1]). In einem weiteren Werk untersuchte man zunächst das Verhalten des Wasserstandes im vorderen und hinteren Oberkessel eines Garbekessels.

Von dem Oberkessel des Garbekessels gibt es verschiedene Ausführungen, die sich hauptsächlich in der Höhenlage der oberen Verbindungsstutzen gegenüber der Mittelachse der Oberkessels unterscheiden, s. Abb. 50 und 51. Die Unterschiede in der Höhenlage der Stutzen sind erheblich. Unter der Voraussetzung, daß zum Abfließen des Wassers von vorn nach hinten kein Gefäll erforderlich ist, ist bei dem am höchsten liegenden Stutzen der verfügbare Querschnitt wesentlich geringer als bei dem am tiefsten liegenden Stutzen.

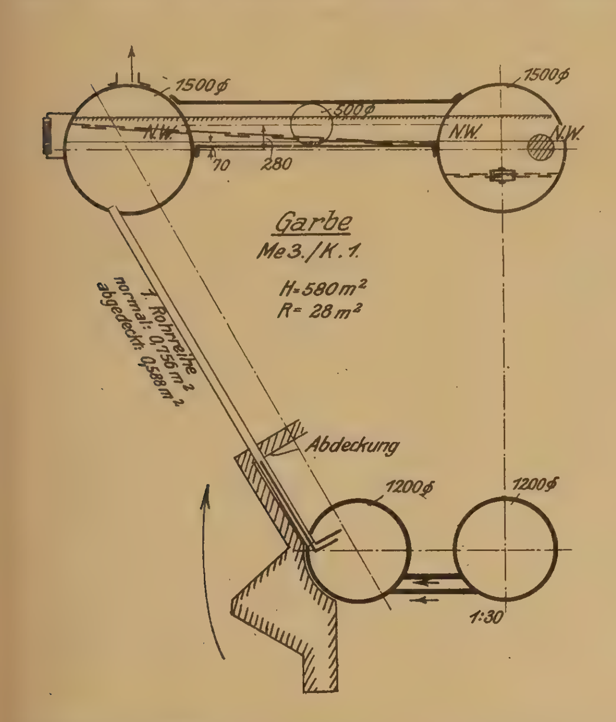
Der Konstrukteur beabsichtigt, daß der Wasserkreislauf im Dürrkessel wie folgt verläuft: Einspeisen in die hintere Obertrommel, Abfließen durch das hintere Rohrbündel nach der vorderen Untertrommel, Aufstieg im vorderen Rohrbündel, Überlaufen von der vorderen Obertrommel nach der hinteren Obertrommel. Gleichzeitig sollen sich zeitweise oder stetig im vorderen und im hinteren Bündel Teilkreisläufe bilden. Wird nun der Wasserstand so niedrig gehalten, daß er unterhalb der Sohle des Verbindungstutzens liegt, dann tritt offenbar Wasser von dem vorderen nach dem hinteren Oberkessel nicht mehr über. Durch die hinteren Verbindungsrohre fließt nur diejenige Wassermenge, welche zum Ersatz des verdampften Wassers dient.

Nun erhöhen wir allmählich den Wasserstand. Dann tritt der Zeitpunkt ein, wo Wasser vom vorderen in den hinteren Oberkessel übertreten kann. Dieses Wasser nimmt dann am großen Kreislauf teil, d. h. es strömt auch durch die unteren Verbindungsrohre, mithin wächst die durch die unteren Verbindungsrohre umlaufende Wassermenge, je mehr Wasser von der vorderen nach der hinteren Obertrommel überlaufen kann. Derjenige Garbekessel hat also bei normalem Wasserstand den günstigsten Kreislauf, bei welchem die Verbindungsstutzen am tiefsten sitzen. Rücksichten auf die Nietnaht hatten veranlaßt, die Stutzen höher zu setzen. Hebt man den Wasserstand in der Vordertrommel über die normale Höhe, so genügt schließlich der übrigbleibende Querschnitt des Verbindungstutzens für das Überströmen des Dampfes nicht mehr. Dann wird der Dampfdruck in der vorderen Trommel etwas größer als in der hinteren Trommel und wirkt dadurch ausgleichend auf die Wasserspiegel. Zugleich aber steigt auch die Gefahr des Überspeisens des Kessels.

Die durchgeführten Messungen, Abb. 52, zeigen die Richtigkeit dieser Überlegung. Wichtig sind in der Hauptsache die Wasser-

[1]) Zeitschrift des bayr. Revisions-Vereins Nr. 30 vom 31. Oktober 1923.

stände in der vorderen und in der hinteren Obertrommel. Hält man den Wasserstand in der vorderen Obertrommel in der Höhe des normalen Wasserstandes, dann ist, wie aus den Versuchen hervorgeht, der Wasserstand in der Hintertrommel um nahezu 1100 mm tiefer; da die Sohle der hinteren Obertrommel etwa 800 mm unter N. W. liegt, so steht das Wasser in diesem Falle bei der hinteren Obertrommel 300 mm unterhalb der Walzstelle, d. h. diese liegt frei. Hebt man nun in der Vordertrommel den Wasserstand, so zeigen die Kurven, wie sofort auch in der Hintertrommel der Wasserstand steigt. Steht er etwa 150 mm über N. W. in der Vordertrommel, dann ist in der Hintertrommel gerade die Sohle der Trommel bedeckt. Zur Probe hat man beim Versuch ein nochmaliges Absenken des Wasserstandes und nochmaliges Steigen durchgeführt. Der Schwimmer des Reglers war bei diesem Kessel in einen Topf verlegt. Die Reglerkurve zeigt, daß der Regler befriedigend arbeitet. Die bis etwa 10^{30} bemerkbaren Schwankungen sind auf Betätigung des Reglers mit der Hand zurückzuführen, wodurch der Regler auf gutes Arbeiten geprüft werden sollte. Die Hebung des Wasserstandes, die 9^{40} einsetzt, ist verbunden mit der Zugabe einer bestimmten Wassermenge. Der Regler mußte also in diesem Augenblick weiter öffnen. Ebenso ist das 10^{50} beginnende Absenken mit dem Schluß des Speiseventils verbunden, dem dann 11^{04} ein kräftiges Öffnen folgte.



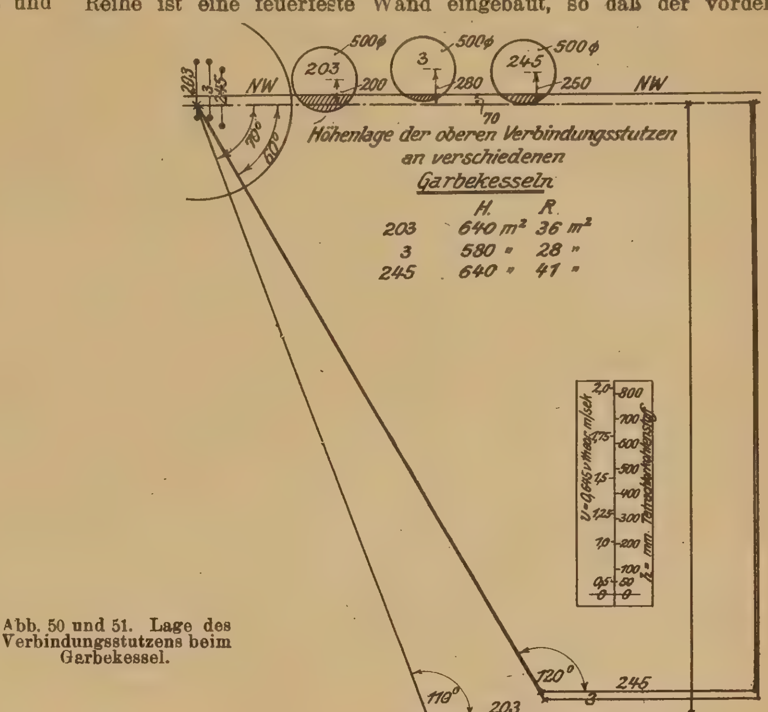


Abb. 50 und 51. Lage des Verbindungsstutzens beim Garbekessel.

Bei dem untersuchten Kessel saß der Verbindungstutzen von der vorderen nach der hinteren Obertrommel verhältnismäßig hoch. Der Kessel ist zweifellos beim Absinken des Wasserstandes unter die Einwalzstelle der Siederohre in seinem Bestand gefährdet. Es lag nahe, die Verbindung zwischen den beiden Untertrommeln zu beseitigen. Dann muß sich der Wasserstand am Hinterkessel so weit heben, daß das vorn verdampfte Wasser durch Überlaufen von hinten nach vorn ersetzt wird, d. h. der hintere Oberkessel ist dann mit Wasser angefüllt. Es schien zweckmäßig, vor dem Umbau einer größeren Anzahl Kessel den Wasserkreislauf des Kessels unter den veränderten Verhältnissen eingehend zu untersuchen.

Bei der Messung des Wasserumlaufes hat man sich nicht damit begnügt, die Richtung, in der das Wasser fließt, festzustellen, sondern man versuchte auch, die umlaufenden Wassermengen zu messen. Geeichte Stauscheiben erwiesen sich hierfür als unzweckmäßig, weil ihr Widerstand verhältnismäßig groß ist und dieser die Durchflußmengen verändert. Nach längeren Versuchen wurde eine Staurohrmessung ausgearbeitet, die sich für diesen Zweck gut bewährt hat. Während man aber in allen Rohren, in denen nur Wasser fließt, die Wassermenge einwandfrei messen kann, läßt sich die Wassergeschwindigkeit in denjenigen Rohren, die Dampf entwickeln, erst messen, wenn man verhindert, daß sich in der Nähe der Meßstelle Dampfblasen bilden. Auch die Literatur macht hier nur Annahmen, denen Versuche mit eingeblasener Luft zugrunde liegen.

Abb. 53 enthält das Ergebnis dieser Versuche. An dem untersuchten Garbekessel wurden die Verbindungsrohre der beiden Untertrommeln durch Pflöcke verschlossen, so daß kein Wasserübertritt zwischen diesen beiden Trommeln möglich war. Die Reglerkurve ganz unten zeigt, daß der eingebaute Hannemann-Regler empfindlich und einwandfrei arbeitet. Die Speisung war demnach während des Versuches sehr gleichmäßig, ebenso die Leistung des Kessels. Der Kessel hatte zwei Dampfausgangsrohre, und in jedem Rohr war ein Dampfmesser eingebaut. Die Summe der beiden Messungen gibt die Dampfleistung des Kessels in t/h an. Im Unterteil der Kurven ist ein Querschnitt durch die Siederohrbündel dargestellt. Das vordere Rohrbündel hat hintereinander neun Siederohrreihen, wovon die beiden letzten durch eine feuerfeste Wand abgetrennt im zweiten Kesselzug liegen und daher nach Annahme des Konstrukteurs als Fallrohre dienen. Da die Verbindungsrohre zwischen den beiden Untertrommeln hier verschlossen waren, wurden an ihnen keine Messungen gemacht. Das letzte Rohrbündel enthält acht Siederohrreihen hintereinander. Zwischen der vierten und fünften Reihe ist eine feuerfeste Wand eingebaut, so daß der vordere Teil als Steig-, der hintere als Fallrohrbündel arbeiten soll. Die Messungen an den Rohren 1, 2 und 3 waren in diesem Fall noch nicht einwandfrei, weil der Wärmeübergang an den Meßstellen noch nicht verhindert war. Dagegen sind die Messungen an Rohr 4 und 5 einwandfrei. Der Konstrukteur hat angenommen, daß diese beiden Rohre Fallrohre sind. Dagegen fördern diese Rohre nach dem Zupfropfen der Verbindungsrohre außerordentlich große Wassermengen, und zwar Rohr 4, wie verständlich, etwas weniger.

Bei Rohr 11 hat man ebenfalls eine kräftige Wasserbewegung festgestellt, und zwar stets eindeutig nach unten, ebenso bei

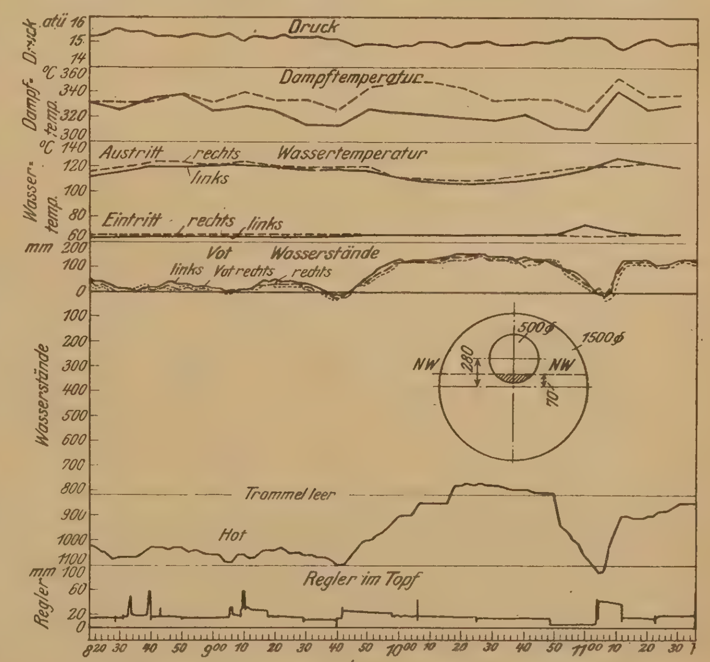


Abb. 52. Wasserstandverlauf vom 1. Dezember 1923 am Kessel 1 Me 3. (Garbekessel, $H = 585$ m², $R = 28$ m²).

Rohr 10. Bei den Rohren 8 und 9 dagegen, insbesondere bei Rohr 8, hat Dampfbildung an der Meßstelle die Messungen fast dauernd gestört. Auch im Garbekessel wird also das hintere Rohrbündel zeitweise zur Dampfbildung mit herangezogen. Der Wasserstand der beiden Trommeln hat sich selbstverständlich fast vollkommen ausgeglichen. Er ist in der hinteren Obertrommel jetzt um einige Zentimeter höher als in der vorderen Obertrommel, was auch sein muß, damit das Wasser von der hinteren Obertrommel zur vorderen überläuft. Die aufgenommenen Kurven liefern den Beweis dafür, daß die bauliche Veränderung des Garbekessels, das Abschneiden der Verbindungsrohre zwischen den beiden Untertrommeln, der Wirksamkeit des Kessels keinen Abbruch tut; seine Leistung ist durchaus befriedigend. In den beiden ebenfalls, aber viel rascher, so daß sich beide Wasserstände in kurzer Zeit ausgleichen. In der Zeit von 11^{20} bis 3^{30} ist der Wasserstand in beiden Trommeln nahezu gleich, da er vorn hochgehalten wurde, so ist ein guter Ausgleich durch die Stutzen möglich. Gegen 3^{50} wird der Wasserstand vorn wieder abgesenkt, worauf er auch dementsprechend in der Hintertrommel sinkt. Entsprechend dieser Versuchsanordnung ergibt die Überlegung, daß im ersten Teil des Versuches bei niedrigerem Wasserstand vorn nur sehr wenig Wasser durch die Querrohre zwischen den beiden Untertrommeln läuft. Wie die Kurve der Wassermengen zeigt, ist in der Tat die Wassermenge bis 11 Uhr nahezu Null, um 11 Uhr steigt sie entsprechend der Erhöhung des Wasserstandes an und bleibt dann bis etwa 4 Uhr auf beträchtlicher Höhe.

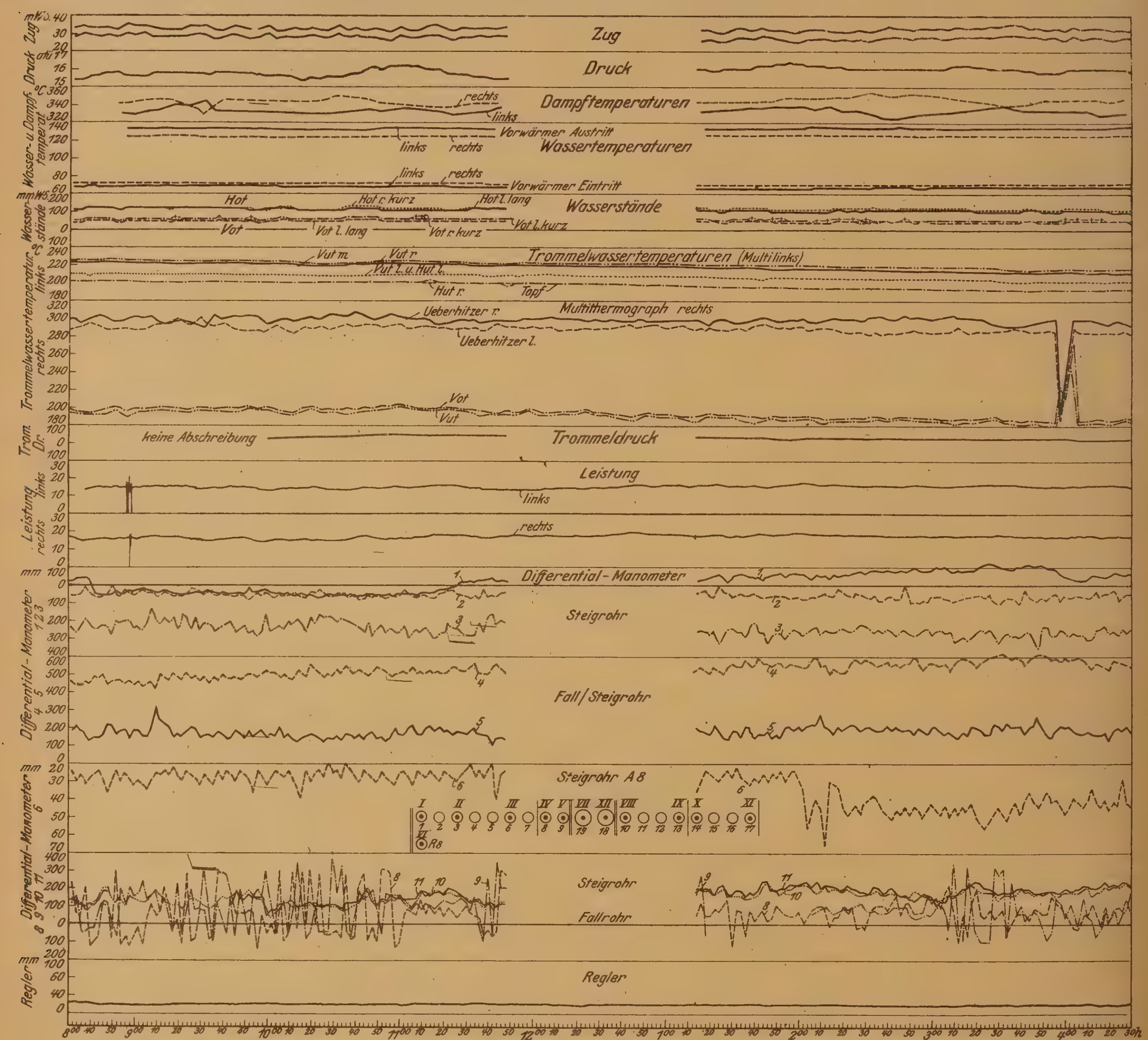


Abb. 53. Wasserumlauf-Versuch vom 29. August 1923 am Kessel 15 Me 245. Garbekessel, H=600 m²; R=36 m²; Cl=19 000 mg/l; Zug=26 mm. Die Differentialmanometer geben mm Wasserhöhe an.

Bündeln herrscht ein ausgeprägter starker innerer Wasserkreislauf.

Wertvoll ist es, den unveränderten Garbekessel nochmals zum Vergleich heranzuziehen. Inzwischen waren die Meßmethoden noch weiter ausgebildet worden, so daß auch die Darstellung klarer geworden war. In Abb. 54 sind die Versuche dargestellt; die Verbindungsrohre zwischen vorderer und hinterer Untertrommel sind also geöffnet. Aus der Kurve der Wasserstände ist folgender Verlauf zu ersehen: Bei Beginn der Versuche wird ein Wasserstand gewählt, der etwa 50 mm über dem niedrigsten Wasserstand steht. In der vorderen Untertrommel ist dann der Wasserstand 600 mm tiefer. Etwa um 9^{50} wird der Wasserstand durch Zuspeisen erhöht, vorübergehend bis auf 300 mm über N. W. Der Wasserstand in der Hintertrommel steigt dann

Zu beachten sind ferner die Leistungen des Kessels, die entsprechend den beiden Dampfmessern in dem Abdampfstutzen nach oben und unten von einer Nullinie aus aufgetragen sind. Um 9^{50} verringert sich die Kesselleistung nicht unerheblich. Dies ist auf das Einspeisen einer beträchtlichen Menge von kaltem Speisewasser zurückzuführen, die dazu diente, den Wasserstand im Vorderkessel zu heben. Die Kurve der Wassertemperaturen zeigt einen entsprechenden Temperaturenabfall. Nachdem der neue Wasserstand erreicht ist, erhöht sich die Wassertemperatur allmählich, und es stellt sich ein neuer Beharrungszustand ein. Der Wasserstand ist beim Heben in der Vordertrommel so hoch gestiegen, daß der Trommeldruck in der Vordertrommel sogar höher wurde als hinten. Dann trat nach einiger Zeit ein Ausgleich ein. Die Kurve des Trommeldruckes gibt dies auch an.

Zum Verständnis der Wasserbewegung in den Siederohren und ihrer Darstellung ist folgendes notwendig: Der Konstrukteur hat angenommen, daß im hinteren Rohrbündel die Rohre X, XI, XII und XIII eine aufwärts gerichtete, die Rohre XIV, XV, XVI und XVII eine abwärts gerichtete Wasserbewegung haben. Ferner sollen nach Ansicht des Konstrukteurs im vorderen Rohrbündel die Rohre I bis VII einschließlich aufwärts gerichtete Wasserbewegung, die Rohre VIII und IX abwärts gerichtete Wasserbewegung haben. Wenn also die Versuche diese Annahmen des Konstrukteurs bestätigten, wurde die Ablesung des Differentialmanometers nach oben aufgetragen. Falls somit um 11 Uhr das Fallrohr X einen nach oben aufgetragenen Wert von etwa 75 mm anzeigt, so heißt das, die Wasserbewegung erfolgt im Sinne der Annahmen des Konstrukteurs, hier nach unten.

Bei niedrigem Wasserstand haben die Fallrohre X und XI eine sehr geringe Bewegung, die zeitweise sogar ihre Richtung ändert. Von etwa 11[25] ab ist dauernd eine abwärts gerichtete Wasserbewegung in den beiden Rohren zu bemerken. Das langsame Ansteigen der Kurven deutet darauf hin, daß das Erreichen des Beharrungszustandes des Kessels nach der Änderung des Wasserstandes geraume Zeit in Anspruch nimmt. Die Rohre VIII und IX sollten nach Annahme des Konstrukteurs Steigrohre sein. Eine einwandfreie Messung war nur seit der Steigerung des Wasserkreislaufes möglich. Das Wasser strömte aber nicht im Sinne des Konstrukteurs nach oben, sondern nach unten. Dies erklärt sich dadurch, daß mit dem höheren Wasserstand, wie schon vorhin nachgewiesen, wesentlich größere Wassermengen durch die Verbindungen der beiden Untertrommeln treten. Diese Wasserströmung war stärker als der Auftrieb, der in den Rohren VIII und IX durch höhere Temperaturen erzeugt wurde. Vor dem Erhöhen des Wasserstandes zeigen die beiden Rohre VIII und IX dauernd wechselnde Ausschläge. Diese lassen auf Dampfbildung in den Rohren schließen. Es ist auch erklärlich, daß bei dem geringen Wasserumlauf, der bei niedrigem Wasserstande herrscht, diese Rohre leichter zur Dampfbildung kommen, und stimmt mit dem Ergebnis des Versuches am umgeänderten Kessel überein, wo fast dauernde Dampfbildung in diesen Rohren beobachtet wurde. Von den Rohren IV und V zeigt das Rohr V eine Bewegungsrichtung des Wassers im Sinne des Konstrukteurs, d. h. das Wasser fällt nach unten. Im ersten Teil des Versuches hat dagegen das Rohr IV noch teilweise Wasser nach oben gefördert. Erst beim Übergang zum Beharrungszustand und bei

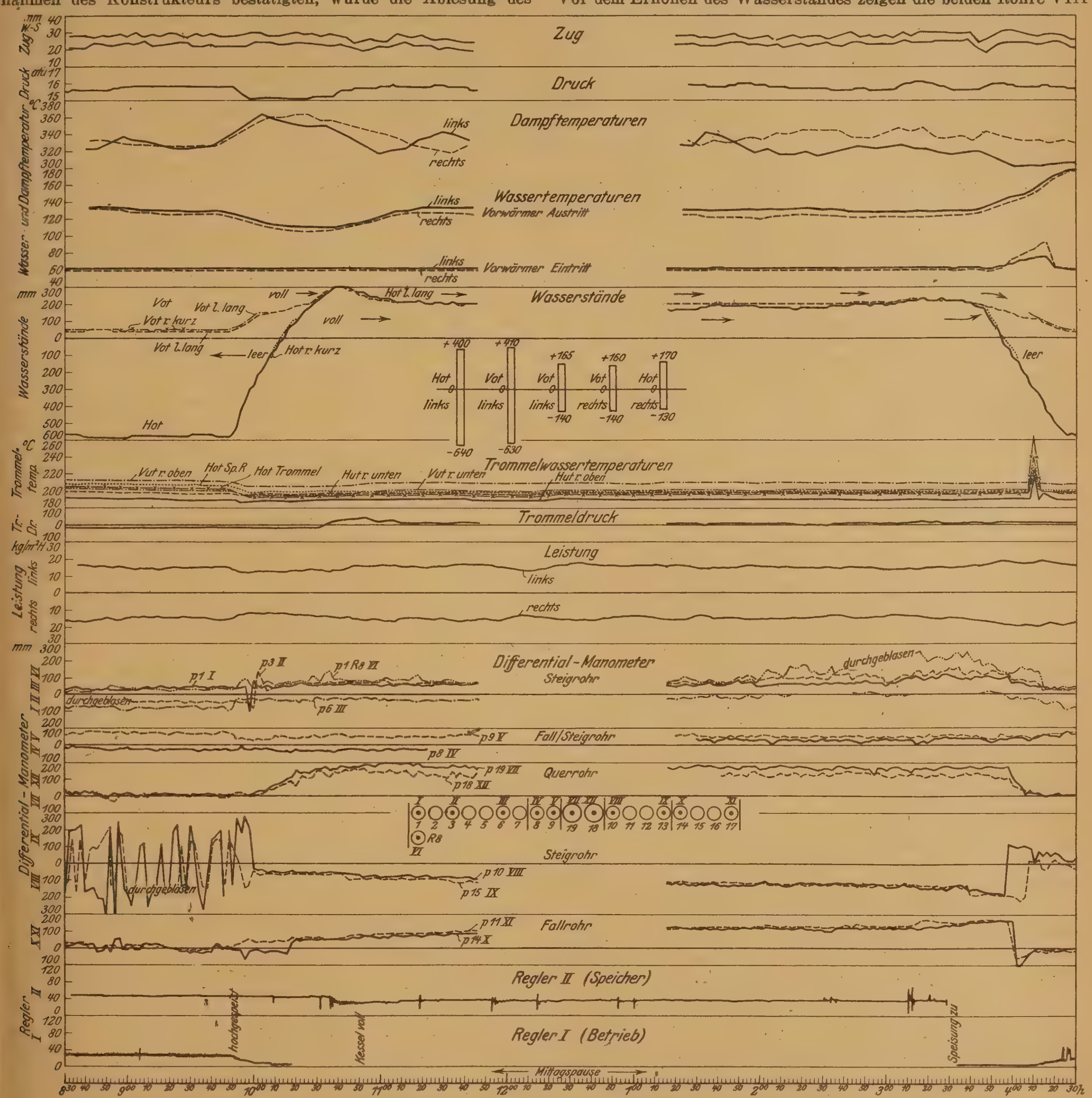


Abb. 54. Wasserumlauf-Versuch vom 25. Oktober 1923 am Kessel 15 Me 245. Garbekessel, H=640 m²; R=36 m²; Cl=8000 mg/l; Zug=22 mm. Die Differentialmanometer geben mm Wasserhöhe an.

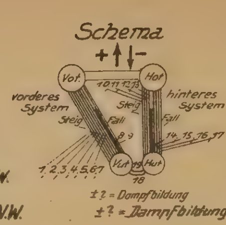
Abb. 55. Wasserumlaufmengen in m³/h.

Beharrungszustand

D = 32 kg/m² H. Std. i. Mittel.

Garbe 245/15. H = 640. R = 36

Regler Vot.
a) Normal + 50 m/m ü. N.W.
b) Hoch + 200 m/m üb. N.W.
c) Quer zu + 50 m/m üb. N.W.



System:		Vorderes System je 48 53,5/60 ⌀									Querrohre je 30 88/94 ⌀		Hinteres System je 48 54/60 mm ⌀							
Gattung:		Steigrohre							Fallrohre		—		Steigrohre				Fallrohre			
Position:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	19	18	10	11	12	13	14	15	16	17
Schema:		⊙	○	⊙	○	○	⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙	⊙	○	○	⊙
Messtelle:		I · VI	—	II	—	—	III	—	IV	V	VII	XII	VIII	—	—	IX	X	—	—	XI
Rohr	a.	+4,0	—	+5,0	—	—	−3,1	—	−3,6	−4,7	± 0	+ 3,3	± ?	—	—	± ?	± 0	—	—	−2,1
	b.	+5,0	—	+7,5	—	—	−0,8	—	−2,5	−1,7	+26,7	+23,4	−3,7	—	—	−3,7	−4,2	—	—	−4,2
	c.	± ?	—	± ?	—	—	−7,0	—	−8,0	−13,8	—	—	± ?	—	—	± ?	−7,4	—	—	−7,4
Reihe	a.	+192	—	+240	—	—	−150	—	−173	−226	± 0	+100	± ?	—	—	± ?	± 0	—	—	−100
	b.	+240	—	+360	—	—	−40	—	−120	−80	+800	+700	−175	—	—	−175	−200	—	—	−200
	c.	± ?	—	± ?	—	—	−330	—	−380	−630	—	—	± ?	—	—	± ?	−350	—	—	−350
Bündel	a.	+900				−400			−400		+100		+ 100				−200			
	b.	+1800					−100		−200		+1500		− 700				−800			
	c.	+1600					−660		−1000		//////		+ 1400				−1400			
System	a.	900				900							100 ← ↑100 200							
	b.	1800					1800						← 1500							
	c.	1600					1600				//////		↺ 1400							

höherem Wasserstand erhält auch das Rohr IV eine nach abwärts gerichtete Wasserströmung. Im Rohr I war die kräftige aufsteigende Bewegung zu erwarten. Der Knick etwa gegen 10 Uhr zeigt, daß unter dem Einfluß der niedrigen Wassertemperaturen beim Aufspeisen das gesamte Wasser zusammenfällt, was augenblicklich eine Umkehrung der Bewegungsrichtung veranlaßt. Man kann aber feststellen, daß bereits das Rohr III nicht immer Steigrohr im Sinne des Konstrukteurs ist. Anfänglich, und zwar bis etwa Nachmittag 2 Uhr, ist dieses Rohr noch Fallrohr. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß die vordere Heizfläche hier zu reichlich bemessen ist. Die Wirkung der hohen Temperatur reicht nicht unter allen Verhältnissen bis zum Rohr VI. Als gegen 4 Uhr der Wasserstand wieder abgesenkt wurde, war dies mit einem Absperren der Speisung verbunden. Die Temperaturen des Trommelwassers mußten sich selbstverständlich dann sehr schnell erhöhen. Der Knick in der Kurve der Trommelwassertemperaturen um etwa 4[10] zeigt dies sehr deutlich.

Bemerkenswert ist dann noch die Reglerkurve. Man hatte an diesem Kessel die Speichermöglichkeiten untersucht. Bei einem Regler, der wie der Hannemannsche Regler durch den Stand eines Schwimmers betätigt wird, ist mit hoher Leistung des Kessels ein niedriger und mit niedriger Leistung des Kessels ein hoher Wasserstand verbunden. Der hohe Wasserstand, den also der Kessel in einer Leistungspause angenommen hat, wird beim Anstellen auf höhere Leistung allmählich heruntergesetzt, d. h. das Speichervermögen des Kessels wird in Anspruch genommen. Man kann dieses Speichervermögen der Kessel in noch höherem Maß ausnutzen, als der eingebaute Regler es gestattet, wenn man zwei Regler nacheinander in Betrieb kommen läßt. Diese sitzen in zwei verschiedenen Speiseleitungen, die sich aber kurz vor dem Kessel vereinigen. Beim vorliegenden Versuch war zunächst der untere Regler im Betrieb, die andre Speiseleitung war geschlossen. Nun wurde 9[50] auch die zweite Speiseleitung geöffnet. Dadurch stieg der Wasserstand und der erste Regler schloß ab, wie aus der Reglerkurve ersichtlich. Zunächst arbeitete der Speiseregler II und füllte den Kessel auf den neuen Wasserstand. Dieser Regler hielt dann von etwa 10[40] bis 3[30] den Kessel auf dem neuen Wasserstand fest. Daß dieser Regler vorzüglich arbeitet, ist aus der regelmäßigen Kurve zu ersehen. Die zeitweiligen Schwankungen kommen daher, daß man ihn von Zeit zu Zeit auf sein einwandfreies Arbeiten geprüft hat. Um 3[30] wurde die Speiseleitung von Regler II geschlossen, der Kessel speiste sich dann herunter, und zwar so weit, bis dann um 4[10] Regler I wieder in Betrieb kam.

Eine Ergänzung zu Abb. 53 und 54 bietet Abb. 55, die einen Vergleich der umlaufenden Wassermengen ermöglicht.

Abb. 56 zeigt, in welcher Weise die gewonnenen Erfahrungen weiter zu verwerten waren. Es zeigte sich während einer langen Versuchsreihe, daß die Meßstellen I und IV in zwei nebeneinander liegenden Siederohren der ersten Rohrreihe in ihren Angaben dauernd gut übereinstimmten. Man kann also umgekehrt auch schließen, daß, wenn die Angaben zweier nebeneinander liegender Siederohre bei gleichen Meßgeräten gleiche sind, die Rohre unter gleichen Bedingungen arbeiten. Das Siederohr I wird durch den Boden des Versuchskessels in einen Kondensator geleitet. Im Kondensator kann man daher bestimmen, wieviel Dampf das Rohr entwickelt hat. Man muß nur dafür sorgen, daß das Regelventil so eingestellt wird, daß die beiden Meßröhrchen den gleichen Ausschlag zeigen.

In Abb. 56 ist über einer Achse, welche den Ausschlag des Meßröhrchens I angibt, die Wassergeschwindigkeit in den beiden Meßröhrchen eingetragen. Da die Leistung des Kessels auf etwa 30 kg/m² erhalten wurde, so zeigt Meßröhrchen VI gleichförmige Geschwindigkeit an. Wird das Regelventil so eingestellt, daß bei dieser Leistung das Meßröhrchen I gleichen Ausschlag gibt, dann herrscht in diesem Augenblick dieselbe Geschwindigkeit. Durch weiteres Öffnen des Regelventils wird die Geschwindigkeit größer, durch Schließen kleiner. Einem Ausschlag von 150 mm entspricht eine Geschwindigkeit von etwa 0,8 m/s. Für verschiedene Ventilöffnungen am Meßröhrchen I ist dann das im Meßröhrchen I entwickelte Dampfgewicht in kg für ein Rohr eingetragen. Die Kurve sinkt von 200 auf etwa 140 kg für ein Rohr. Aus dieser Kurve ist dann die oberste Kurve für das stündliche Dampfgewicht in kg/m² und rückwärts daraus der Wassergehalt des Dampfes bestimmt.

Bei 30 kg/m² Leistung des Kessels und gleichen Ausschlägen der beiden Meßröhrchen entwickelt das Siederohr I auf 1 m² etwa 280 kg/h Dampf. Der Wassergehalt des Wasserdampfgemisches beträgt dabei etwa 25 vH Raumteile. Diese Messungen waren ein gutes Hilfsmittel, um nun die Verhältnisse beim Hochdruckkessel übersichtlich klarzumachen, s. Tafel 3 und Abb. 57.

Für Tafel und Kurvenblatt gelten folgende Voraussetzungen: Es ist angenommen, daß auf 1 m² Rostfläche eine bestimmte Wärmemenge, nämlich 300 000 kcal/h, freigemacht werden. Hiervon werden 140 000 kcal/h in der Verdampfheizfläche übertragen, und zwar wird diese Wärmemenge nur zur Verdampfung gebraucht, weil vorausgesetzt wird, daß das Speisewasser durch die andern Heizflächen bereits auf Sattdampftemperatur erhitzt ist. Es soll zunächst nur 1 m² der ersten Rohrreihe betrachtet werden.

In Abb. 57 ist die 16 at-Linie durch einen dicken Strich hervorgehoben. Zunächst sind die für die Erzeugung des Hoch-

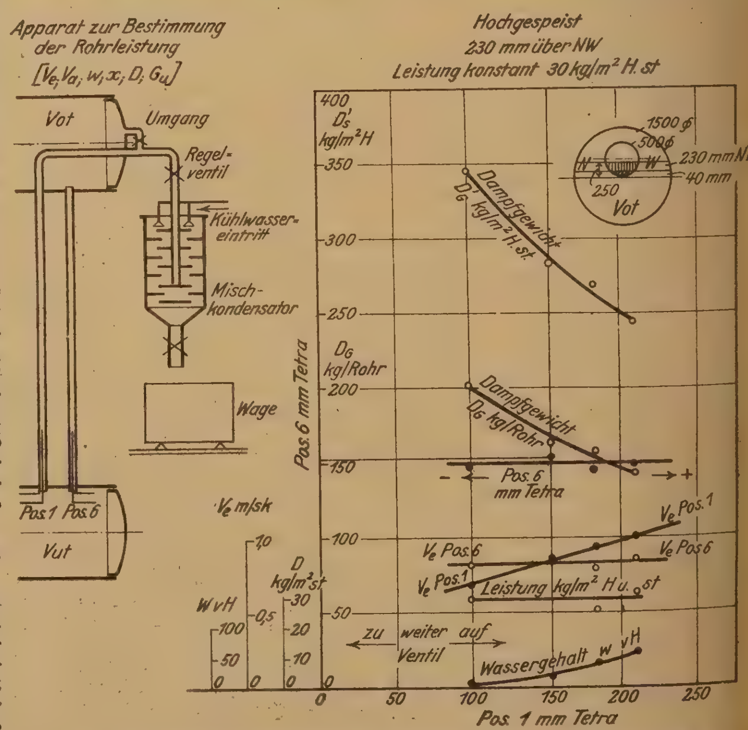


Abb. 56. Wasserumlaufmessungen am Garbekessel 245/15. H = 640 m², R = 36 m²

druckdampfes erforderlichen Wärmemengen, Flüssigkeitswärme q, Verdampfwärme r, Gesamtwärme i aufgetragen. Wie bekannt, fällt die Verdampfwärme mit steigendem Druck ab, während die Flüssigkeitswärmemenge mit steigendem Druck zunimmt. Wenn also ein Kessel bei 16 at 300 kg Dampf auf 1 m² der ersten Rohrreihe erzeugt, dann kann er bei gleichbleibendem Angebot an Wärme und bei Erhöhung des Druckes auf 1 m² nach der eingezeichneten Kurve steigende Dampfmengen erzeugen.

Die Gesamtwärme nimmt, wie bekannt, nach Überschreitung einer Höchstwertes mit steigendem Druck allmählich ab. Die Temperatur des überhitzten Dampfes ist der Einfachheit halber mit 450 °C für alle Drücke gleichmäßig angenommen. Es erleichtert die Berechnungen, wenn man die Unterschiede der Wärmeinhalte gegenüber dem Wärmeinhalt bei 16 at schnell abgreifen kann. Das sind die drei Kurven, die bei 16 at ihren Nullpunkt haben. Damit auch die Grundlagen der Rechnungen erkenntlich werden, sind die Konstanten, das spezifische Volumen des Wassers und Dampfes und die spezifische Wärme des Dampfes, für die verschiedenen Drücke angegeben. Hierfür sind Angaben von Schüle und Stodola zugrunde gelegt und danach bei Drücken über 100 at die Werte der spezifischen Wärme extrapoliert.

Da das spezifische Volumen des Dampfes bei höheren Drücken abnimmt, so ergibt sich, daß auch bei engen Rohren der Wassergehalt des austretenden Gemisches wesentlich höher, d. h. günstiger als bei 16 at ist. Hierbei ist allerdings angenommen, daß die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in die Steigrohre 1 m/s beträgt. Die beiden Kurven beziehen sich auf Durchmesser von 40 und 80 mm. Während sich bei 16 at und Rohren von 40 mm l. W. ein Wassergehalt von 10 vH einstellt, sind bei 100 at bereits 36 vH Wassergehalt vorhanden, und zwar sind bei 80 mm l. W. die Verhältnisse noch günstiger. Die Gefahr des Durchbrennens der Rohre ist mithin beim Hochdruckkessel wesentlich geringer als bei den heute üblichen Drücken.

Wenn die im verdampften Teil übertragene Wärmemenge gleich bleibt, wie angenommen, so wächst die Dampferzeugung, wie die Kurve oben angibt. Infolgedessen nimmt auch die Wärmemenge für die Vorwärmung des Wassers auf die Dampftemperatur sehr stark zu. Wird hingegen die gleiche Leistung auf 1 m² Rohrfläche wie bei 16 at angenommen, so werden die Verhältnisse bei höheren Drücken wesentlich günstiger. Der Bedarf an Überhitzungswärme steigt bei zunehmender Dampferzeugung ebenfalls entsprechend, während er sich bei gleichbleibender Dampferzeugung nur wenig ändert.

Für den Wärmeverbrauch des Vorwärmers, des Überhitzers und des Verdampfers sind je zwei Kurven eingezeichnet; diese zeigen die Grenzwerte, zwischen denen sich die Verhältnisse für den Hochdruckkessel einstellen. Drückt man die Veränderung des Wärmeverbrauchs in vH aus, so ergeben sich die ganz unten dargestellten Verhältnisse. Mit zunehmendem Druck bleibt der Wärmeanteil des Überhitzers gleich, während der Vorwärmeranteil stetig zu-, der Verdampferanteil verhältnismäßig stets abnimmt. Auf jeden Fall ist zu entnehmen, daß sich selbst bis zu den höchsten Drücken die Verhältnisse durchaus überblicken und beherschen lassen.

An Hand dieser Übersicht lassen sich die bisher bekannt gewordenen Konstruktionen für Hochdruckkessel kritisch vergleichen. Mit Ausnahme des Atmos-Kessels und des Hochdruckkessels von Schmidt sind sie offenbar als eine Art Übergangskessel gedacht, weil man die theoretischen Grundlagen nicht richtig anwendet. Atmos und Schmidt-Hartmann gehen neue Wege und fördern die Entwicklung günstiger als ein Übergangskessel.

In den „Beiträgen zur Geschichte der Technik und Industrie" 1912 findet sich ein Aufsatz von Prof. R. Baumann „Das Materialprüfungswesen und die Erweiterung der Erkenntnis auf dem Ge-

Tafel 3.

Hochdruckdampf.

Angebotene Wärmemenge = H' = 300 000 WE/m² H_I Std.
Übertragene " " = H = 140 000 WE/m² H_I Std.
Eintrittsgeschwindigkeit d. Wassers ins Steigrohr = V_e = 1,0 m/sek
Austritts " d. Gemisches aus Steigrohr = V_a m/sek.
Heißdampftemperatur = tü = 450 °C
Normaldampf = 16 ata; 450 °C

Lichter Rohrdurchmesser = d_1 = 40 mm ϕ; d_2 = 80 mm ϕ
Innenfläche = f_1 = 0,001257 m²; f_2 = 0,00503 m²
Wasserberührter Umfang = u_1 = 0,1257 m; u_2 = 0,2513 m
" " Heizfl. = h_1 = 0,628 m²; h_2 = 1,256 m²
Eintrittswassermenge = V_{e_1} = 4,54 m³/Std. V_{e_2} = 18,1 m³/st

Wärme-Inhalte nach Schüle 4. A

Gegenstand			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dampf-Druck	P_D	ata	1	8	16	32	50	100	150	200	220	224
Sattdampf-Temp	t_s	°C	99	170	200	237	263	310	347	364	372	374
Wärme-Inh. Flüssigkeit	q	WE/kg	99	171	204	243	272	326	374	426	464	500
Wärme-Inh. Dampf	r	WE/kg	539	490	467	436	408	328	244	146	69	0
Wärme-Inh. Gesamt	i	WE/kg	638	661	670	679	679	654	618	572	533	500
Differenz der	q'	WE/kg	−105	−33	±0	+39	+68	+122	+170	+222	+260	+296
Wärme-Inhalte gegen	r'	WE/kg	+72	+23	±0	−33	−59	−139	−223	−321	−398	−467
Normaldampf	i'	WE/kg	−32	−9	±0	+9	+9	−16	−52	−98	−137	−170
Spez. Volum. Wasser	1000 σ	ltr/kg	1,043	1,112	1,156	1,223	1,281	1,478	1,592	1,88	2,28	2,9
Spez. Volum. Dampf	V_s	m³/kg	1,721	0,245	0,172	0,065	0,041	0,019	0,011	0,006	0,004	0,003
Dampf Erzeugte	D	kg/m² H/St	260	286	300	320	340	420	570	960	2030	∞
Dampf Menge	V_D	m³/st	446	70	38	27	14	8	6	5,75	8	∞
Dampf Überhitzung	tü-ts	°C	350	280	250	273	189	140	110	86	78	76
Dampf Spez. Wärme	C_p	WE/kg	0,5	0,51	0.52	0,536	0,552	0,67	(0,8)	(0,94)	(0,99)	(1,0)
d_1 = 40 mm ϕ Austretendes-	V_D+V_w	m³/st	450	74	42	25	18	12	10	10,3	12,6	∞
d_1 = 40 mm ϕ Gemisch	G_D+G_w	kg/st	4350	4070	3900	3700	3500	3200	2800	2400	2000	1500
d_1 = 40 mm ϕ Umlaufwasser	Gw_1	kg/st	4700	3780	3600	3300	3200	2800	2300	1400	0	0
d_1 = 40 mm ϕ Wassergehalt	W_1	vH	1	6	10	18	25	36	43	44	36	0
d_1 = 40 mm ϕ Austritts-Geschwind	Va_1	m/sek	100	16,4	9,4	5,6	4,1	2,8	2,3	2,27	2,8	?
d_1 = 40 mm ϕ Umlaufwassergewicht / Dampfgewicht	X_1	fache	15,8	12,6	11,3	10,0	9,4	6,6	4,0	1,5	0	0
d_2 = 80 mm ϕ Austretendes-	V_D+V_w	m³/st	464	88	56	39	32	26	24	23,85	26,2	∞
d_2 = 80 mm ϕ Gemisch	G_D+G_w	kg/st	17400	16000	15600	14800	14000	13000	11400	9600	8000	6200
d_2 = 80 mm ϕ Umlaufwasser	Gw_2	kg/st	17100	15900	15300	14500	13700	12400	11000	8680	5970	0
d_2 = 80 mm ϕ Wassergehalt	W_2	vH	4	20	32	46	56	70	75	76	69	0
d_2 = 80 mm ϕ Austritts-Geschwindigk	Va_2	m/sek	25,6	4,8	3,1	2,1	1.78	1,44	1,33	1,3	1,45	?
d_2 = 80 mm ϕ Umlaufwassergewicht / Dampfgewicht	X_2	fache	66,0	56,0	51,0	45,0	40,0	30,0	19,0	9,0	2,9	0
Wärme-Verteilung, D wachsend: Verdampfer	J_D	WE/D	140000	140000	140000	140000	140000	140000	140000	140000	140000	140000
Wärme-Verteilung, D wachsend: Überhitzer	$J_ü$	WE/D	45500	41000	39000	37000	35000	39000	49000	77500	156000	∞
Wärme-Verteilung, D wachsend: Vorwärmer	$J_{Vw.}$	WE/D	26000	45000	61000	78000	92000	137000	213000	410000	940000	∞
Wärme-Verteilung, D wachsend: Gesamt	J_G	WE/D	211500	230000	240000	255000	267000	316000	402000	627500	1236000	∞
Wärme-Verteilung, D = 300 kg/St: Verdampfer	J_D	WE/D	162000	147000	140000	137000	122000	98000	73000	44000	21000	0
Wärme-Verteilung, D = 300 kg/St: Überhitzer	$J_ü$	WE/D	52500	43000	39000	34000	31000	28000	26000	24000	23000	22800
Wärme-Verteilung, D = 300 kg/St: Vorwärmer	$J_{Vw.}$	WE/D	30000	51000	61000	73000	815000	98000	112000	128000	139000	150000
Wärme-Verteilung, D = 300 kg/St: Gesamt	J_G	WE/D	244500	247000	240000	238000	234500	224000	211000	196000	183000	172800
in vH: Verdampfer		vH	66	61	59	55	52	44	35	23	12	0
in vH: Überhitzer		vH	22	18	16	14	13	12	12	12	12	13
in vH: Vorwärmer		vH	12	21	25	31	35	44	53	65	76	87

Normalvergleichsdampf: 16 ata; 450°C. Heizflächen: Verdampfer, Überhitzer, Vorwärmer.
Eine bestimmte Wärmemenge auf Rost erzeugt. Diese Wärmemenge wird der ersten Heizfläche angeboten.
Diese Heizfläche überträgt nur zur Verdampfung einen Teil der angebotenen Wärmemenge auf das in anderen Heizflächen bis auf Sattdampftemperatur bereits erhitzte Speisewasser.
Der Rest bleibt für Überhitzung und Vorwärmung. In der Übersicht wird nur 1 m² H der ersten Rohrreihe betrachtet.

Verhalten bei höheren Drücken bei:
a) Gleichbleibender im Verdampfer übertragenen Wärmemenge (140000 WE)
b) Gleichbleibenden im Verdampfer erzeugten Dampfgewicht. (300 kg)
c) Verändertem Siederohr Durchmesser

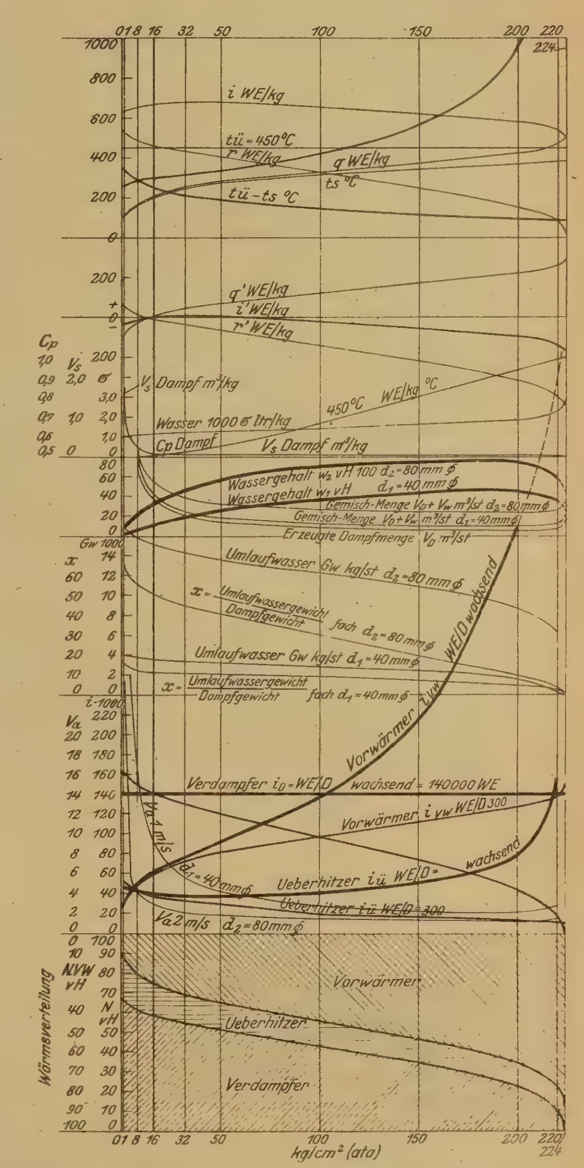
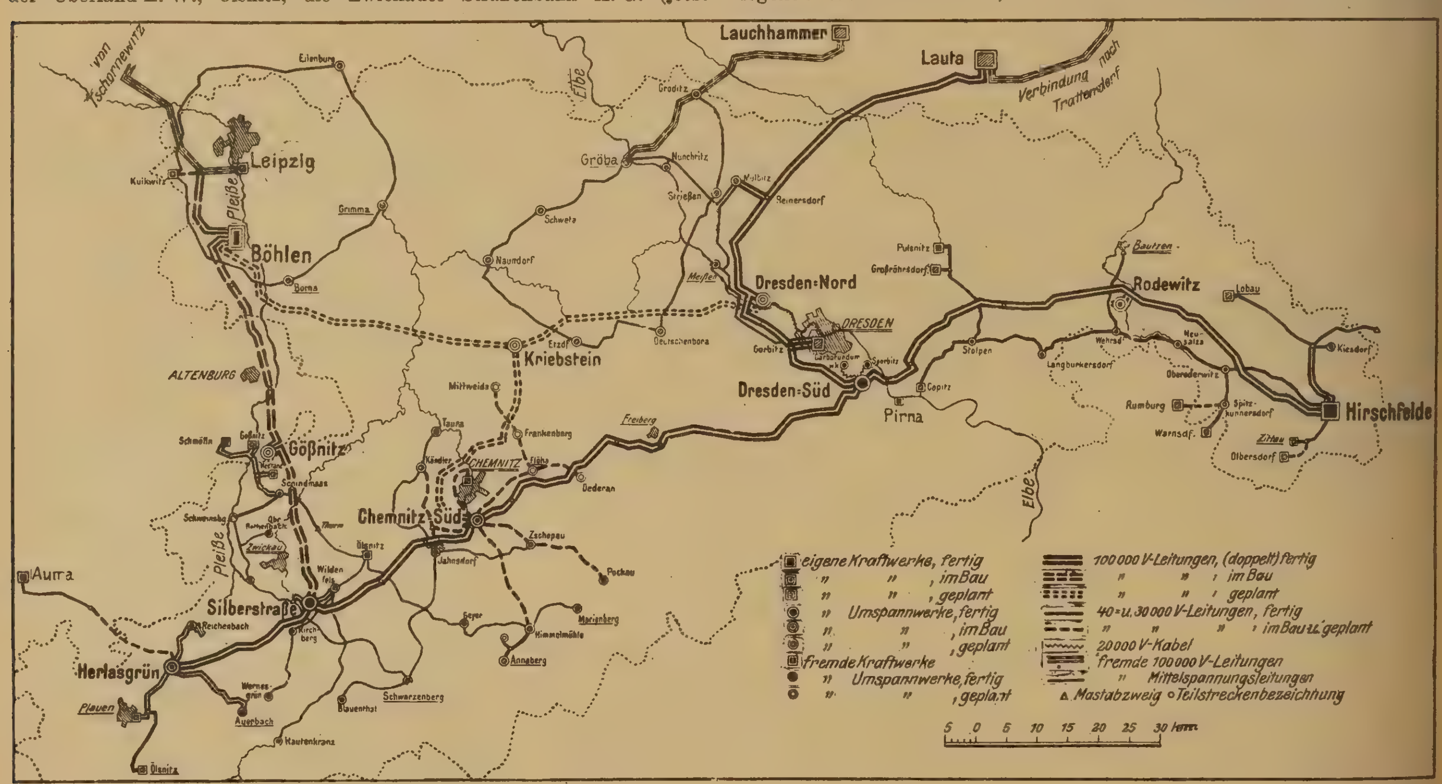


Abb. 57. Betriebsverhältnisse bei Hochdruckdampfkesseln.

biete der Elastizität und Festigkeit in Deutschland während der letzten vier Jahrzehnte“ Diese Abhandlung ist gerade für das, was uns heute beschäftigt, von großem Interesse. Baumann schildert, wie unter der Leitung weitblickender, tatkräftiger und ausdauernder Männer, unter denen Wöhler, Grashof, Bach, Krupp, Borsig und andre hervorragen, der Weg von der Handwerksregel zur Prüfung der Festigkeitseigenschaften und dann zur Untersuchung des tatsächlichen Verhaltens des Materials führte. Als letzte Stufe kam dann die Prüfung der Widerstandsfähigkeit ganzer Konstruktionsteile hinzu. Diese letzte Aufgabe ist für das Dampfkesselwesen in den Laboratorien der Hochschulen allein nicht mehr lösbar. Sie gehört in die Betriebe. Hier aber erweist sie sich als überaus fruchtbar in jeder Beziehung. Dem Konstrukteur wird die Kenntnis der Betriebsanforderungen und ihrer Einwirkungen auf den Kessel die Möglichkeit zu Verbesserungen und neuen Erfindungen geben. Wir werden dann nicht mehr bemängeln, daß der Konstrukteur heute noch vielfach die Anforderungen des Betriebes nicht kennt, so daß die betreffende Konstruktion hier und da versagt. Des weiteren wird der Betriebsingenieur mit dem Eindringen in das innerste Wesen seiner Kessel in die Lage versetzt, sie sachgemäß zu behandeln. Gleichzeitig wird er zu einer Durchforschung seines Betriebes veranlaßt, die seine Berufsfreudigkeit wesentlich erhöhen wird. Nichts ist langweiliger als ein Betrieb, der in Ordnung ist und in dem sich tagtäglich dieselben Vorgänge wiederholen. Gegen die abstumpfende Wirkung des täglichen Einerlei sind solche Studienarbeiten ein vortreffliches Mittel. Zur vollsten Auswirkung kommen aber erst diese Arbeiten, wenn der Zusammenschluß der Kesselbesitzer gleichzeitig auch zu einem Austausch dieser Betriebserfahrungen führt. Das Dampfkesselwesen ist so sehr ein allgemeines Hilfsmittel geworden, daß überall tüchtige Kräfte an der Arbeit sind. Beim Austausch dieser Erfahrungen kann man immer wieder lernen, daß und wie alles noch besser gemacht werden kann. [A 53]

Die Landesstromversorgung in Sachsen[1]).

In klarer Erkenntnis der Bedürfnisse des Landes hat der sächsische Staat die schon im Jahre 1916 geschaffenen gesetzlichen Grundlagen der allgemeinen Landeselektrizitätsversorgung raschest verwirklicht. Die auf privatwirtschaftlicher Grundlage von der Elektrizitätslieferungs-Gesellschaft, Berlin, und der Elektra A.-G., Dresden, geleisteten Vorarbeiten wurden den Plänen und Vereinheitlichungsbestrebungen des Staates nutzbar gemacht; die erstere Unternehmung begründete das Überlandkraftwerk in Hirschfelde, Oberlausitz, ferner die Elbtalzentrale Pirna und drei weitere Elektrizitätswerke an der Lungwitz, Pleiße und im Obererzgebirge, während die Elektra A.-G. (1898 aus der E.-A.-G. Schuckert & Co. hervorgegangen) den Betrieb der Überland-E.-W., Ölsnitz, die Zwickauer Straßenbahn A.-G. (jetzt Kraftwerke Westsachsen A.-G.) und eine Reihe neuerer Werkgründungen übernahm. Im Jahre 1918 ging die Mehrheit der Aktien dieser Unternehmungen in die Hände des Staates über.



Die Kraftquellen des Staates beruhen fast ausschließlich auf den bedeutenden Braunkohlenschätzen des Landes (rd. 4 Milliarden t), deren Verfeuerung an Ort und Stelle der Gewinnung die wirtschaftlichste Art der Energieausnutzung darstellt. Die unmittelbar am Fundort errichteten Großkraftwerke bilden die Ausgangspunkte eines weit verzweigten Netzes von Starkstromleitungen.

Das Herz der sächsischen Stromversorgung liegt im Braunkohlenbecken der südlichen Oberlausitz, wo das Großkraftwerk Hirschfelde mit einer Maschinenleistung von zurzeit 85 000 kW errichtet wurde. Es verarbeitet 55 vH der Förderung; nur 17 vH werden als Rohkohle verkauft, die restlichen 28 vH zur Briketterzeugung verwertet. Die Kohle wird durch Eimerkettenbagger im Tagebau gewonnen; täglich werden 10 000 t mit elektrischen Zügen bis zu den Bunkern des Kraftwerkes befördert. Der im Abraum-, Gruben- und Brikettfabriksbetrieb erforderliche Strom wird zum größten Teil vom Kraftwerk als Drehstrom von 6000 V geliefert. Neben dem Hirschfelder Werk ist noch die Errichtung eines zweiten Großkraftwerks in Böhlen, im Gebiet des Leipziger Braunkohlenbeckens, geplant, dessen Abbau 1921 in Angriff genommen wurde; dieses Werk soll bis auf 100 000 kW ausgebaut werden und mit einer Wasserkraftanlage, deren Vollendung bis Mitte 1925 geplant war, zusammenarbeiten. Neuerdings ist die Zusammenfassung aller noch verfügbaren und ausbauwürdigen Wasserkräfte des Landes (rd. 150 000 PS) geplant.

Neben der Stromversorgung des Landes von diesen beiden Hauptkraftwerken hat der sächsische Staat auch Stromlieferungsverträge für rd. 30 000 bis 40 000 kW Gesamtleistung mit andern Großkraftwerken abgeschlossen, insbesondere mit den in Preußen gelegenen Werken in Lauta, Zschornewitz und Bitterfeld. Die Ausdehnungen des Netzes auf Thüringen und Bayern (bei Herlasgrün) ist nur eine Frage der Zeit.

Das staatliche Leitungsnetz für 100 kV, das Strom bis in die entlegensten Orte übertragen soll, hat zurzeit 350 km Länge und wird nach Vollendung der im Bau begriffenen und geplanten Leitungen 530 km umfassen. Der Verlauf der Leitungen ist aus der Abbildung zu ersehen. Durch die an geeigneten Stellen errichteten Umspannwerke und Schaltstellen wird der Strom an die Mittelspannungsleitungen abgegeben und von diesen weiter verteilt. Die von öffentlichen Elektrizitätswerken gelieferte Energie ist von 250 Mill. kWh im Jahre 1913 bei 90 000 kW Höchstleistung auf 400 Mill. kWh mit 130 000 kW Spitzenleistung im Jahre 1922 gestiegen, wovon das Landesunternehmen mehr als die Hälfte liefert.

Die Elektrizitätsversorgung des Landes wird unter selbständiger Verwaltung durchgeführt, untersteht jedoch der Direktion der staatlichen Elektrizitätswerke, die wiederum unmittelbar dem Finanzministerium angegliedert ist. Der der Direktion beigegebene Landeselektrizitätsrat besteht aus Vertretern des Landtages, der Städte, Gemeinden und der Gewerbestände. [R 77] Rb.

[1]) Nach einer von P. Barthel im Auftrage der Direktion der staatl Elektrowerke verfaßten Denkschrift.

Spannungsmessungen an laufenden Maschinen.

Von Dr. J. Geiger, Augsburg.

Ein Meßgerät für Spannungsmessungen an laufenden Maschinen wird beschrieben. Die Anforderungen, denen das Meßgerät zu genügen hat, und fünf Verfahren für die Prüfung der Meßwerte werden erläutert.

Versuche, die im Betriebe auftretenden Spannungen an Maschinen zu ermitteln, sind bisher mangels geeigneter Meßgeräte kaum durchgeführt worden. Es gibt wohl Apparate, mit denen statische Formänderungen, z. B. von Brücken, gemessen werden können; auch sind sie zum Teil noch als brauchbar zu bezeichnen, wenn die Formänderungen zeitlich langsam verlaufen; für Messungen an Maschinen, insbesondere an raschlaufenden, gab es dagegen bis heute keine geeigneten Meßgeräte.

Auf der andern Seite scheint von besonderer Wichtigkeit gerade die Messung der betriebmäßigen Spannungen, in denen tatsächlich alle Nebeneinflüsse enthalten sind, die sich in der Rechnung unmöglich berücksichtigen und vielfach auch nicht hinreichend genau abschätzen lassen. Praktische Erfahrungen, die auf die Feststellung hinausgehen, ob ein Körper hält oder bricht, kommen oft sehr teuer zu stehen, da solche Erfahrungen unter Umständen mit dem Zubruchgehen von Teilen oder ganzen Maschinen erkauft werden müssen. Dabei erfährt man jedoch nicht, wie hoch der betreffende Teil tatsächlich beim Bruch beansprucht worden ist, sondern lediglich, daß seine Beanspruchung unter oder über der Bruchgrenze gelegen hat. Ob Baustoff verschwendet wurde, oder ob die Festigkeit eben noch genügt, darüber sagt diese rohe Beobachtung nichts, die gewöhnlich erst im Laufe längerer Zeit gewonnen wird.

Ein Meßgerät, mit dem auch an raschlaufenden Maschinen die fortwährend wechselnden Spannungen einwandfrei ermittelt werden können, muß daher für die Praxis von größter Bedeutung sein.

Die zu fordernden Eigenschaften des Meßgerätes.

Wir wollen zunächst feststellen, welchen Anforderungen ein derartiges Meßgerät genügen muß:

1) Spannungen können nur durch Formänderungen (Längsdehnungen oder Verkürzungen) gemessen werden. Bei ganz kleinen Maschinenteilen spielen diese Messungen eine nebensächliche Rolle, weil bei diesen die Baustoffkosten unbedeutend sind und diese Teile ausreichend dick gemacht und beim Bruch leicht ersetzt werden können. Bei mittleren und größeren Teilen, bei denen Spannungsmessungen großen Nutzen bringen, sind die kleinsten Meßlängen, die allenfalls noch für Betriebsmessungen in Betracht kommen, etwa 150 mm. Das Meßgerät muß also soweit vergrößern, daß die den Spannungen entsprechenden Formänderungen auf dieser kurzen Meßlänge noch genügend sichtbar gemacht werden können.

2) Das Meßgerät soll an den verschiedensten Maschinenteilen verwendet werden; es soll überall und in jeder Lage befestigt werden können.

3) Durch andere als die zu messenden Formänderungen darf das Meßgerät nicht beeinflußt werden.

4) Ebenso darf auch durch starke Erschütterungen, wie sie an raschlaufenden Motoren, Pressen, Hämmern unvermeidlich sind, das Meßgerät weder als Ganzes noch in seinen einzelnen

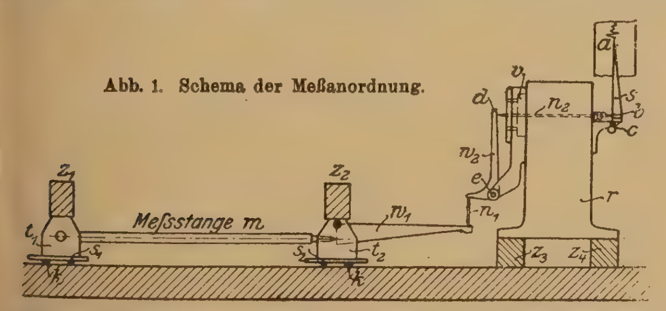


Abb. 1. Schema der Meßanordnung.

Teilen im geringsten beeinflußt werden. Im Gegensatz zu statischen Messungen an ruhenden Bauteilen ist dieser Umstand hier von ausschlaggebender Bedeutung.

5) Die Handhabung soll einfach sein, und die einzelnen Teile dürfen nicht zu empfindlich sein.

6) Da es sich um die Ermittlung raschwechselnder Spannungen handelt, so ist eine dauernde Aufzeichnung unbedingt notwendig. Mit einem Zeigermeßgerät kann man schon aus dem Grunde nichts anfangen, weil es nicht möglich ist, die größte Zeigerstellung, die einen winzig kleinen Bruchteil einer Sekunde enthält, genügend genau abzulesen. Die Daueraufzeichnung muß so sein, daß man auch die Zahl der Spannungswechsel sowie z. B. die Kurbelstellung der betreffenden Maschine, wo die größte Spannung auftritt, ermitteln kann. Diese Aufzeichnung erfolgt zweckmäßig nicht photographisch, sondern unmittelbar mechanisch, weil hierbei die mit dem Photographieren verbundenen umständlichen Arbeiten wegfallen und die Messung an Ort und Stelle sofort sichtbar ist. Gegen das Photographieren sprechen noch weitere Gründe: An laufenden Maschinen ist häufig kein Platz für Anbringung eines photographischen Kastens vorhanden. Der Hauptvorteil, den die optischen Verfahren bieten, daß man mit Hilfe eines mehrere Meter langen Lichtstrahles stark vergrößern kann, läßt sich hier nicht ausnützen, da der Lichtstrahl nicht aus der allseits geschlossenen Kamera hinaustreten darf, die unbedingt klein gewählt werden muß.

7) Der wichtigste Punkt ist endlich die Genauigkeit. Es genügt keineswegs, daß ein derartiges Gerät statisch, d. h. bei ruhender Belastung, geeicht wird, es zeigt dann wohl statisch richtig, kann aber dynamisch, d. h. wenn die Spannungen rasch wechseln, vollständig versagen.

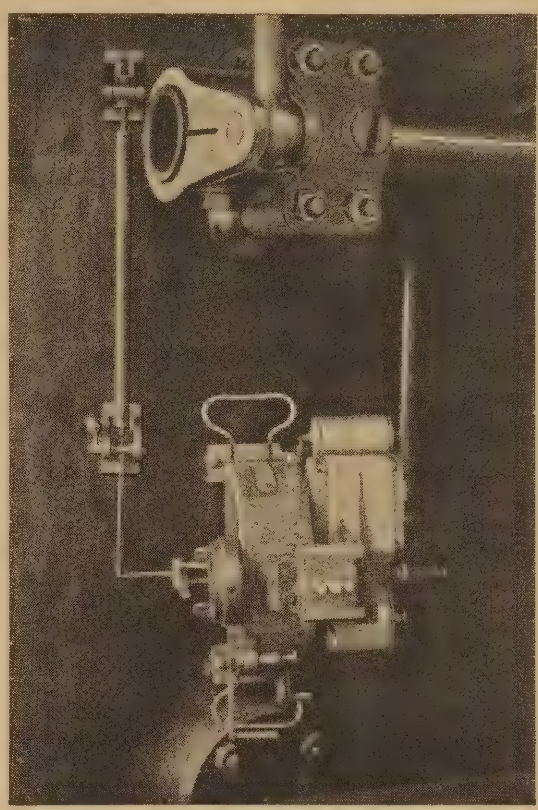


Abb. 2. Anordnung zur Messung der Betriebspannungen im Zylinder eines raschlaufenden Dieselmotors.

8) Das Gerät soll nicht zu teuer werden, damit ihm eine möglichst allgemeine Anwendbarkeit gesichert ist.

Der Vibrograph.

Bekanntlich hat sich der in Z. Bd. 66 (1922) S. 437 beschriebene Vibrograph zur Untersuchung der Schwingungen von Maschinen, Schiffen und Gebäuden bestens bewährt. Bald gelang es, dieses Gerät auch zur Ermittlung von Relativbewegungen zu benützen, z. B. der Bewegung einer Gründung gegen die umliegenden Gebäudemauern, der wirklichen Bewegung einer Ventilspindel, der Relativbewegung einer raschlaufenden Turbodynamowelle gegenüber ihren Lagern oder der Gesamtdehnung einer Maschine. Das Meßgerät wurde in letzter Zeit so vervollkommnet, daß damit auch Dehnungen bei kleinen Meßlängen und niedrigen Beanspruchungen bzw. bei raschen Wechseln zuverlässig aufgezeichnet werden können. Die hierbei verwendete Anordnung zeigt schematisch Abb. 1.

Die Meßlänge erstreckt sich hierbei von Spitze s_1 bis Spitze s_2. Mit Hilfe einer Meßstange m, die an den Dehnungen nicht teilnimmt und deren Länge sich daher im Gegensatz zur Meßlänge nicht ändert, werden die Bewegungen auf einen Winkelhebel w_1, dann über eine Nadel n_1, einen Winkelhebel w_2, eine Nadel n_2 auf den Schreibhebel s mit Spitze a übertragen. Sämtliche Teile von w_2 an sind im Schreibkörper r starr gelagert. In demselben ist auch das Uhrwerk zum Fortbewegen des Papieres untergebracht, während die Teile für Zeitmessung, die Papierrollen usf. außen angeordnet sind. Das Meßgerät läßt sich in verschiedenen Lagen gebrauchen. Abb. 2 zeigt eine senkrechte Anordnung des Gerätes an einer raschlaufenden Schiffsölmaschine, Abb. 3 die Anordnung am Unterteil einer liegenden Maschine.

Bemerkenswert ist, daß sich in wenigen Sekunden der gewöhnliche, in Z. 1922 S. 437 dargestellte Vibrograph durch Ausbau der trägen Masse samt Verschalung und Achse in diesen Spannungszeichner umbauen läßt. Das ist insofern von erheblichem Vorteil, als man — einmal im Besitze des Vibrographen — sich bei sehr geringen Mehrkosten die zur Spannungsaufzeichnung notwendigen Teile verschaffen kann.

Dazu kommt, daß der Vibrograph die denkbar weitestgehenden Ansprüche erfüllt: Die Papiergeschwindigkeit läßt sich in weiten Grenzen, nämlich von 0,2 bis etwa 12 m/min, also im Verhältnis von 1 : 60, ändern. Ferner sind außer einer Zeitmarkierung von Hand noch ein empfindlicher elektrischer Zeitschreiber und ein Totpunktschreiber vorgesehen, so daß man nicht nur die jeweiligen Schwingungszahlen, sondern auch diejenigen Kurbelstellungen, bei denen die größten Spannungen auftreten, zuverlässig ermitteln

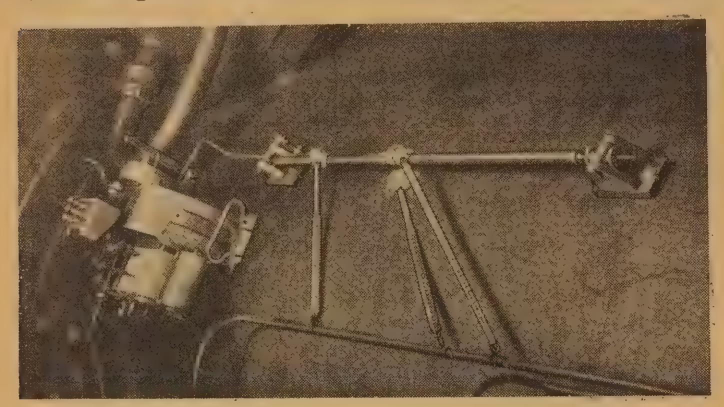


Abb. 3. Anordnung zur Messung der Gasdruck- und Wärmespannungen unten am Zylinder einer liegenden doppeltwirkenden Oelmaschine.

kann. Die Vergrößerung läßt sich ebenfalls innerhalb sehr weiter Grenzen beliebig einstellen. Die stärkste überhaupt vorgesehene Vergrößerung ist 5000fach, bei der sich, bezogen auf 15 cm Meßlänge, bei 6 kg/cm² Beanspruchung noch ein Ausschlag von 1 mm ergibt. Die meist gebräuchlichen Vergrößerungen sind aber etwa 100- bis 400fach.

Die Meßgenauigkeit.

Wir haben vorhin erwähnt, daß ein statisch durchaus richtigzeigendes Spannungsmeßgerät dynamisch vollständig versagen kann. Einer der wichtigsten Gründe hierfür ergibt sich aus folgender Betrachtung: Bei allen derartigen Meßgeräten ist es notwendig, stark zu vergrößern, um die Formänderungen deutlich sichtbar zu machen. Nehmen wir an, die gesamte Vergrößerung sei 1000fach, die Spannung wechsele sinusförmig 1000mal in der Minute, die Spitze des Schreibzeuges habe ein Gewicht von nur $^1/_{10}$ g und der Ausschlag an der Spitze sei 1 cm, so wird die auf die Meßstange bezogene Massenkraft der Spitze allein bereits 1 kg betragen. Rechnet man dazu noch die Massenkräfte sämtlicher anderer Teile, so erkennt man, daß sehr große Massenkräfte an der Meßstange angreifen. Diese Massenkräfte haben Formänderungen der Meßstange und der Übertragungsteile von dieser bis zur Schreibspitze zur Folge. Sie können ein Rutschen der Spitzen, s. Abb. 1, welche die Dehnungslänge begrenzen, auf dem zu untersuchenden Körper zur Folge haben. Bei Anwendung von Gelenken können sie durch toten Gang das Bild vollständig fälschen. Man sage nicht, daß man durch genaue Ausführung toten Gang vermeiden kann, denn wäre im obigen Falle das Spiel nur $^1/_{2000}$ mm, also eine Größe, die unterhalb der in der Praxis erzielbaren Herstellungsmöglichkeit liegt, so betrüge der Fehler immer noch 50 vH. Das gleiche gilt naturgemäß bei Zahnrädern. Bei Spitzenübertragung ist dagegen dafür zu sorgen, daß der Druck in den Spitzen immer positiv bleibt, aber doch nicht so groß wird, daß durch zu große Reibung Fehler eintreten.

Ferner kann trotz scheinbar recht steifer und leichter Ausbildung die Eigenschwingungszahl einer derartigen Anordnung unter Umständen ziemlich tief liegen, so daß durch ihre Lage in der Nähe oder gar unterhalb der Schwingungszahl der zu messenden Spannungsschwankungen erhebliche Anzeigefehler infolge der Elastizität der Meßstange samt Übertragung eintreten. Es kann hierbei sogar vorkommen, daß das Meßgerät überhaupt keine wechselnden Spannungen anzeigt.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus folgt, daß es unbedingt notwendig ist, den Schreibhebel so leicht wie möglich zu machen. Das ist beim Vibrographen durch die Anwendung eines sogenannten Gitterhebels (D.R.P. a.), der in Abb. 4 und 5 dargestellt ist, erreicht. Außer einer äußerst geringen Masse hat derselbe den Vorteil, daß die Tinte in ihm infolge der Kapillarwirkung sogar senkrecht nach oben laufen kann und daß ein Schreiben auch bei den denkbar raschesten Schwingungen noch einwandfrei, klar und deutlich möglich ist, wie die Abbildungen 6 und 7 zeigen. Es sind dies Schwingungen von 332 bzw. 430 in der Sekunde.

Der Gitterhebel ist hinreichend widerstandsfähig und leicht einzubauen.

Für sämtliche anderen Übertragungsteile gilt der Gesichtspunkt größter Steifheit bei geringster Masse ebenfalls, wenn auch in erheblich geringerem Grade wie für den Schreibhebel. Man erkennt dies ohne weiteres aus folgendem Beispiel:

Die Übersetzung bestehe aus drei Hebeln, Abb. 1, deren jeder die Bewegung im Verhältnis 1 : 10 vergrößert. m ist die Meßstange, n_1 eine zwischen die beiden Hebel w_2 und w_1 eingeschaltete Übertragungsnadel, n_2 eine weitere, ist dem Schreibhebel s vorgeschaltet. Damit in diesem Falle dynamisch die Masse des Schreibhebels s keinen größeren Einfluß besitzt als jene der Nadel n_2, darf sie bei einem Trägheitshalbmesser ½ ac, d. h. der halben Länge des Schreibhebels, nur $^1/_{25}$ der Nadel wiegen. Es ist also der Schreibhebel sehr viel leichter als die anderen Teile zu bauen.

Neben der Steifheit in Richtung der zu übertragenden Bewegung ist unbedingt noch Steifheit gegen Schwingungen nach beliebigen anderen Richtungen erforderlich. Aus diesem Grunde ist die Meßstange als dünnwandiges steifes Rohr ausgeführt.

Absichtlich ist ferner das Gerät in zwei Teile unterteilt. Den ersten Teil stellt die Meßstange samt ihrer Befestigung dar. Von ihm wird die Bewegung bereits passend vergrößert auf den zweiten Teil, das Schreibgerät r samt Uhrwerk und Zeitschreibvorrichtung übertragen. Dadurch wird der erste Teil von jeder zusätzlichen, insbesondere jeder einigermaßen vorkragenden Masse befreit, so daß Schwingungen oder sonstige Verschiebungen, auch wenn sie nur Bruchteile von $^1/_{1000}$ mm betragen, unmöglich daran auftreten können. Bemerkenswert nach dieser Richtung ist auch die Befestigungsmöglichkeit. Abb. 1 zeigt in schematischer Ausführung eine solche mit Hilfe von Schraubzwingen z_1 und z_2 bzw. z_3 und z_4, die sich besonders für Rippen und bandartige Teile eignet. Für solche Fälle, wo diese Befestigungsmöglichkeit nicht angeht, werden die Körnerspitzenträger t_1 und t_2 mit Hilfe zweier Kopfschrauben, wie aus Abb. 3 ersichtlich, fest aufgepreßt. Da sich aber dann noch der Träger unter dem Einfluß der an der Meßstange angreifenden Kräfte um die Verbindungslinie der beiden Körnerspitzen drehen könnte, ist beträchtlich außerhalb derselben noch eine leicht drehbare Kugel k angeordnet, die dem Ganzen eine vollkommen stabile Lage gibt und gleichzeitig hinsichtlich der Meßlänge jede Unsicherheit ausschließt, da sie infolge ihrer leichten Drehbarkeit Formänderungen des unter ihr befindlichen zu untersuchenden Körpers nicht auf den Körnerspitzenträger übertragen kann.

An beiden Enden der Meßstange sind derartige Träger vorgesehen, die mit Rücksicht auf eine möglichst vielseitige Verwendbarkeit des Meßgerätes nicht miteinander verbunden sind. Einmal soll man mit verschieden langen Meßstangen arbeiten können. Steht genügend Platz zur Verfügung und ist zu erwarten, daß die Spannung voraussichtlich auf der ganzen Länge unveränderlich ist, so wird man wegen der schon erwähnten Massenwirkungen lieber mit einer längeren Meßstange, z. B. 500 mm, also einer kleineren Vergrößerung, arbeiten. Auch kann man mit der größeren Meßlänge geringe Dehnungen noch ermitteln. Ferner kommt hinzu, daß die Oberfläche des zu untersuchenden Körpers auch in Richtung der Meßstange gewölbt sein kann. Es lassen sich so z. B. auch die Tangentialspannungen in Zylindern und ähnlichen Teilen ermitteln.

Der zweite Teil des Meßgerätes, das Schreibgerät r, steht mit dem ersten lediglich durch die Nadel n_1, die beiderseits Körnerspitzen besitzt, in Verbindung. Dadurch wird erreicht, daß man bei der Befestigung des Schreibgerätes r lediglich darauf zu achten hat, daß zwischen Schreibgerät und Stangenbefestigung t_2 keine Relativbewegungen in Richtung dieser Nadel auftreten. Bewegungen senkrecht hierzu, gleichgültig wie sie sonst gerichtet

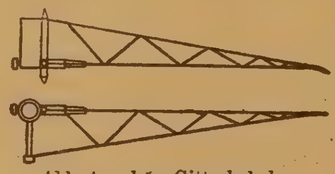


Abb. 4 und 5. Gitterhebel.

Abb. 6. Vibrogramm, bei n = 332 Per./s aufgenommen.

Abb. 7. Vibrogramm, bei n = 430 Per./s aufgenommen.

sind, schaden jedoch nicht, es dreht sich hierbei lediglich die Nadel in ihren Körnerspitzen. Eine Bewegung in dieser senkrecht zur Oberfläche des Meßkörpers stehenden Richtung ist aber nur möglich, wenn der Körper auf der Strecke zwischen der Befestigung des Schreibgerätes und derjenigen des benachbarten Körperspitzenträgers in Richtung der Nadel abgebogen oder verdreht wird. Ob dies möglich ist, hängt von dem einzelnen Falle ab. Man wird dies durch kurze Überlegung rasch herausfinden.

Allgemeine Regeln lassen sich hier nicht gut geben, da bei der Anbringung des Prüfgerätes auf die Form des zu untersuchenden Maschinenteiles Rücksicht genommen werden muß. Bei der gewöhnlichen Anordnung nach Abb. 1 spielen die Verbiegungen keine schädliche Rolle, da hierbei die Verhältnisse so gewählt sind, daß die von der Durchbiegung des Schreibgerätes r und seiner Schiefstellung herrührenden Fehler, bezogen auf die Nadelspitze, einander gerade aufheben.

Grundsätzlich hüte man sich, sofern auf Genauigkeit bei Spannungswechseln einiger Wert gelegt wird, vor Anordnungen, bei denen schwerere Teile vorkommen, oder bei welchen irgendwelche Teile weit vorkragen. Nachgewiesenermaßen entstehen in solchen Fällen Fehler, die nur zu häufig so beträchtlich sind, daß sie die ganze Messung wertlos machen. Alle Teile müssen mit möglichst breiter Grundfläche und möglichst gut, d. h. schwingungsfrei, auf dem Meßkörper befestigt werden. Es ist unbedingt notwendig, auf diesen Punkt aufmerksam zu machen, da zuweilen Spannungsmeßapparate für Brückenuntersuchungen benutzt werden, die hiergegen verstoßen und sofern sie fälschlicherweise zur Untersuchung dynamischer Spannungen verwendet werden, nur zu geeignet sind, dynamische Spannungsuntersuchungen überhaupt in Verruf zu bringen.

Nachprüfverfahren.

Um das Meßgerät nach der dynamischen Seite hin zu prüfen, habe ich fünf Verfahren ausgebildet. Die nächstliegende Prüfung ist die aller Übertragungsteile auf toten Gang. Eine zweite Prüfung ist die auf Schwingungsfreiheit. Hierzu klopft man die Meßstange ab, desgleichen die Spitzenträger, insbesondere aber das Schreibgerät. Dabei ist darauf zu achten, daß die Stöße namentlich in Richtung der Verbindungsnadel n_1 (zwischen t_2 und dem Schreibwerk) erfolgen, ferner in solchen Richtungen, in denen man im Einzelfall am ehesten ein Schwingen für möglich hält. Bei den von Hand oder mit Hilfe eines Holzhammers, Schraubenschlüssels oder dergleichen einzuleitenden Stößen handelt es sich aber nicht um ein schwaches Hintupfen, sondern das Meßgerät muß vielmehr so fest stehen, daß sich der Zeiger auch bei starken Vergrößerungen nicht nennenswert rührt, wenn man unter erheblichem Kraftaufwand an den Befestigungsteilen t_1, t_2 und r rüttelt.

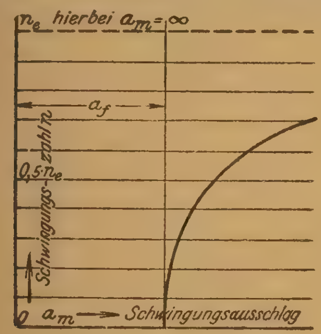


Abb. 8. Abhängigkeit des verzeichneten Ausschlags a_m von der wirklichen Dehnung a_f bei verschiedenen Schwingungszahlen unterhalb der Eigenschwingungszahl.

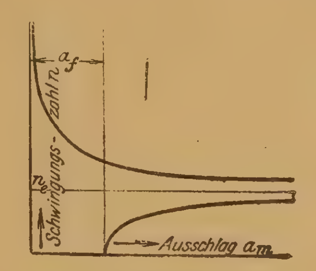


Abb. 9. Abhängigkeit des verzeichneten Ausschlages a_m von der wirklichen Dehnung a_f bei verschiedenen Schwingungszahlen unterhalb der Eigenschwingungszahl.

Eine dritte Prüfung ist die Bestimmung der Eigenfrequenz des Meßgerätes: Man lenke — etwa mit dem Fingernagel — die Schreibspitze nach der Seite, auf der der Druck in den Körnerspitzen der Übertragungsorgane vergrößert wird, aus und lasse sie dann, während das Papier läuft und der Zeitschreiber in Tätigkeit ist, losschnellen und so die Eigenschwingungen des Übertragungsgestänges aufzeichnen. Ihre Schwingungszahl muß auf alle Fälle wenigstens doppelt so hoch wie die Zahl der im Betrieb aufgezeichneten Spannungswechsel sein.

Eine vierte für grundlegende Versuche besonders wichtige Prüfung ist folgende: Man ändere die Übersetzung des Übertragungsgestänges in weiten Grenzen, und zwar sowohl am ersten bzw. zweiten Winkelhebel als auch am Schreibhebel. Hat man nun z. B. in einem Falle eine Übersetzung 1 : 75, in einem zweiten 1 : 150 und in einem dritten 1 : 300, so müssen sich die Ausschläge wie 1 : 2 : 4 verhalten und die Kurven einander ähnlich sein. Ist dies der Fall, so sind die Messungen, vorausgesetzt, daß die drei vorgenannten Forderungen erfüllt sind, dynamisch einwandfrei: Denn wenn z. B. im Falle der stärksten Vergrößerung die Zahl der aufgezeichneten Spannungswechsel in der Nähe der Eigenfrequenz des Systems oder gar etwas darüber lag, so war der Verhältniswert $\frac{\text{Eigenfrequenz}}{\text{Spannungswechsel}}$ bei der kleinsten Vergrößerung, wo die dynamisch reduzierte Masse des wichtigsten Teiles, des Schreiborgans, nur $\left(\frac{75}{300}\right)^2 = \frac{1}{16}$ betrug, sicher beträchtlich größer. Wir hätten dann aus dynamischen Gründen auf alle Fälle stark verschiedene Ergebnisse erhalten müssen. Waren sie aber gleich, so besagt das, daß die Eigenfrequenzen des Gestänges in allen drei Fällen genügend hoch über der Schwingungszahl der zu messenden Spannungsschwankungen lagen und infolgedessen dynamische Fehler nicht vorhanden sind. Zahlenmäßig erkennt man die möglichen Fehler am besten aus Abb. 8. An Hand dieser Abbildung können wir das dynamische Verhalten von Meßgeräten beurteilen. Hinsichtlich des hier behandelten Spannungsmeßgerätes ist folgendes hierzu zu bemerken: Bei dem zu prüfenden Maschinenteil sei die unter der Körnerspitze s_2 befindliche Stelle vollkommen in Ruhe, Abb. 1. In dem Teile zwischen s_1 und s_2 trete eine sinusförmig wechselnde Dehnung von der Gesamtgröße a_f auf. Es fragt sich nun, wie das Schreibgerät a diese Dehnungen wiedergibt, wenn die Zahl der Dehnungswechsel ansteigt. Die naheliegende Annahme, die Ausschläge a_m des Schreibgerätes seien gleich der Dehnung a_f, vervielfacht mit der eingestellten Vergrößerung, ist vollkommen unzutreffend. Die Ausschläge hängen vielmehr stark von dem Verhältnis der jeweiligen Schwingungszahl zur Eigenfrequenz des Meßgestänges ab: Bei einer Schwingungszahl von etwa ¼ der Eigenschwingungszahl sind die Ausschläge a_m (abgesehen von der Vergrößerung) nur um 6,1 vH größer als die Dehnungen a_f, es findet also durch die Elastizität des Meßgestänges und seiner Befestigung noch keine störende Fälschung statt. Bei einer Schwingungszahl von der halben Höhe der Eigenfrequenz beträgt der Fehler bereits 34,0 vH. Darüber hinaus sind aber die Verzerrungen so groß, daß auch bei ganz geringen Ansprüchen an die Genauigkeit das Meßgerät als unbrauchbar bezeichnet werden muß.

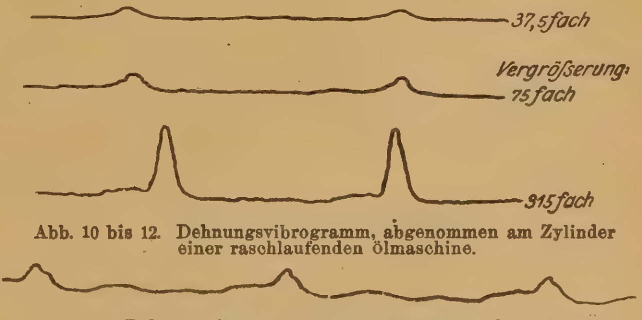


Abb. 10 bis 12. Dehnungsvibrogramm, abgenommen am Zylinder einer raschlaufenden Ölmaschine.

Abb. 13. Dehnungsdiagramm, abgenommen am A-Gestell einer langsamlaufenden Ölmaschine.

In Abb. 9 ist diese Abhängigkeit des Schwingungsausschlages a_m auch für Schwingungszahlen, die über der Eigenschwingungszahl liegen, angegeben. Man erkennt daraus, daß schon ziemlich bald über der Eigenfrequenz das Meßgerät fast nichts mehr anzeigt. Gerade dieser Umstand verdient Beachtung, da man sich sonst zu einer sehr bedenklichen Unterschätzung der im einzelnen Falle auftretenden dynamischen Beanspruchungen verleiten lassen kann.

Diese Prüfung der Meßanordnung auf die Lage der Eigenfrequenz zeigt, daß bei sämtlichen bisher bekannt gewordenen mechanisch aufzeichnenden Spannungsmeßgeräten die Eigenfrequenz viel zu niedrig liegt, um sie für die Untersuchung rascher Spannungswechsel gebrauchen zu können. Bei einem viel gebrauchten Spannungszeichner fand ich z. B. nur 90 Per./min Eigenfrequenz; er liefert also bereits bei Spannungswechseln von 45 Per./min unbrauchbare Ergebnisse; bei einem anderen Spannungszeichner, der im Vergleich zu den übrigen besonders unelastisch und masselos zu sein schien, ergaben sich 1750 Per./min. Demgegenüber liegt die Eigenfrequenz des beschriebenen Spannungsvibrographen bei der meist gebrauchten Vergrößerung bei 18 000 Per./min. Das Meßgerät ist demnach bis zu 9000 minutlichen Spannungswechseln verwendbar.

Fünfte Prüfung. Um zu entscheiden, ob der Fehler von einer dynamischen Wirkung des Übertragungsgestänges oder der Verbiegung des Meßkörpers herrührt, wende man folgende Nachprüfung an: Der Winkelhebel w_1 wird im Träger t_2 mit Hilfe einer für diesen Zweck vorgesehenen Schraube festgeklemmt und die Meßstange entfernt. Treten Fehler durch Verbiegungen unter dem Schreibgerät oder durch Schwingungen desselben ein, so werden sie bei dieser Anordnung, die man während des Betriebes leicht herstellen kann, in derselben Vergrößerung auf dem Papierstreifen wiedergegeben. Bei richtiger Anordnung und Befestigung des Schreibgeräts muß sich dagegen eine gerade Linie ergeben, die höchstens schwache Schwingungen zeigen darf.



Abb. 14. Dehnungsdiagramm an einer Stanze (auf der Innenseite des Gestells).

Abb. 15. Spannungen in einem Brückenträger, wenn ein Schnellzug über die Brücke fährt.

Durch diese fünf angeführten Verfahren — toter Gang, Klopfen, Eigenschwingungszahl, Ändern der Vergrößerung, Prüfung auf Relativverbiegungen — ist die Möglichkeit gegeben, auch bei sehr verwickelten Teilen während des Betriebes die Spannungen genau zu ermitteln. Für denjenigen, der öfters derartige Messungen durchführt, sind natürlich sämtliche Prüfungen im Einzelfalle nicht notwendig. Die Eigenschwingungszahl seines Meßgerätes für eine bestimmte Vergrößerung wird er ebenso wie die ungefähre Zahl der Spannungswechsel kennen.

In Abb. 10 bis 12 sind Spannungsdiagramme für eine schnellaufende Ölmaschine in drei Vergrößerungen wiedergegeben. Der Hauptzweck war hierbei, festzustellen, um wieviel die Spannung durch die sehr steife Verbindung der einzelnen Zylinder erniedrigt würde.

Ähnliche Messungen wurden vom Verfasser mit gutem Erfolge bereits an verschiedenen anderen Teilen von stehenden und liegenden Ölmaschinen durchgeführt. In Abb. 13 ist das Diagramm einer ortfesten Viertakt-Dieselmaschine wiedergegeben, das unten am A-Gestell abgenommen wurde. Dieses Diagramm zeigt deutlich die während der vier Teile des Viertaktes durch den Gasdruck und die Gleitbahnkräfte hervorgebrachten Spannungen.

Besondere Bedeutung hat auch die Ermittlung der Wärmespannungen durch dieses Verfahren erlangt. Hierbei ist es aber unbedingt notwendig, sowohl am Meßkörper selbst wie auch an der Meßstange wenigstens je ein empfindliches Thermometer anzuordnen, um Dehnungen, die von Temperaturunterschieden zwischen diesen herrühren, mit Sicherheit aussondern zu können.

Ferner kann man das Gerät bei Hobel- und Fräsmaschinen, insbesondere aber bei Stanzen und Pressen verwenden. Gerade bei diesen ist man oft im unklaren über die Größe der auftretenden Spannungen und über die Größe des notwendigen Gesamtdruckes. Abb. 14 zeigt den Spannungsverlauf bei einer Stanzmaschine. Man erkennt hier deutlich zuerst das langsame Ansteigen, dann das Gleichbleiben der Spannung während des Stanzvorganges, worauf die Spannung fast plötzlich in einen nur wenig kleineren negativen Wert (Druckspannung) übergeht und unter raschen Pendelungen von 4000 Schwingungen in 1 min verschwindet. Gerade diese rasche Spannungsänderung, dieses fast plötzliche Übergehen von einer Zug- in eine Druckspannung kann nur dann richtig verzeichnet werden, wenn das Meßgerät eine sehr hohe Eigenfrequenz hat.

Ein anderer Fall, Abb. 15, bezieht sich auf die in einem Brückenträger beim Darüberfahren eines Schnellzuges auftretenden ebenfalls rasch wechselnden Spannungen. Auch hierbei ist bemerkenswert, daß außer langsamen Spannungen noch sehr rasch wechselnde von beträchtlicher Größe auftreten.

Selbstverständlich gibt es in jedem Fachgebiete des Ingenieurwesens Fälle, in denen Spannungsmessungen wertvoll sind. [A 27]

Anwendung der Elektrizität in amerikanischen Eisenhüttenwerken.

Auf der Jahresversammlung der Association of Iron and Steel Electrical Engineers im Jahre 1923 zu Buffalo erstattete der Vorsitzende, W. C. Kennedy, einen Bericht über die Elektrizität im Eisenhüttenwesen[1]). Der Bericht erstreckte sich auf Hauptantriebe, Ausrüstung von Kraftwerken, elektrische Heizung, Kondensatoren und andre Teile.

Bei den Hauptantrieben ist bemerkenswert der Ersatz der Dampfmaschinen durch Elektromotoren, ferner der weitgehende Gebrauch von Getrieben, die ausschließliche Benutzung von Gleichstrom überall dort, wo eine Anpassung der Umlaufzahlen erforderlich ist. Die Zahl solcher Anlagen hat sich in den letzten Jahren stark vergrößert. Das hat drei Hauptursachen: 1. das Steigen der Kohlenpreise und damit der Dampfkosten, 2. die zunehmenden Verwendungsmöglichkeiten des bezogenen Stromes, 3. die Vervollkommnung der Räderübertragung.

Der bei der Räderübertragung verwendete Drehstrom hat fast stets 60 Per./s. War man früher über die Verwendbarkeit einer Übersetzung für den Hauptwalzenantrieb im Zweifel, so ist man sich heute über seine allgemeine Brauchbarkeit völlig klar. Vielfach sitzt das Schwungrad unmittelbar auf der Motorwelle, so daß das Getriebe schweren Walzenstößen ausgesetzt ist. Da sich solche Anlagen bewährt haben, so hat der Gebrauch von Motoren bei Strom von 60 Per./s stark zugenommen.

In zahlreichen Fällen ersetzte man die zum Antriebe dienenden Dampfmaschinen aus Sparsamkeitsgründen durch Elektromotoren. Für die Inland Steel Co. wurde die in Amerika bisher größte Anlage mit Räderübertragung von 6250 PS Leistung ausgeführt. Andre Anlagen nach der Ilgner-Bauart haben von Zweimaschinen-Umformern mit Schwungrad gespeiste Gleichstrommotoren. Eine 609er Baueisen-Straße auf den Phoenix Iron Works ist nach der Ilgner-Bauart ausgeführt, obgleich sie in der Regel nicht im Umkehrbetrieb arbeitet. Diese Antriebart gestattet, die Walzengeschwindigkeit so zu verringern, daß man das Arbeitstück zwischen die Walzen schieben, dann mit hoher Geschwindigkeit fertig machen und so die Leistung erheblich steigern kann. Bei allen älteren Ausführungen dieser Straßen wurden unmittelbar gekuppelte Motoren benutzt.

Im Jahre 1923 wurde der größte Wechselstrommotor für 8000 PS, 240 Uml./min und 13 200 V mit Schleifring-Induktionsmotor zum Antrieb einer halbkontinuierlichen Blockstraße der Morgan Construction Co. von der Ford Motor Co. geliefert. Er ist übrigens der erste Stahlwerks-Induktionsmotor für mehr als 6600 V. Dieselbe Gesellschaft erhielt auch den größten Gleichstrommotor für Einzelantrieb mit 4500 PS bei 67,5 bis 100 Uml./min zum Antrieb eines 356er Walzwerks für Handelseisen.

Den größten Induktionsmotor mit Umlaufregelung nach Kraemer bezog die Inland Steel Co. Er soll ein Walzwerk für Handelseisen betreiben und ist für 4500 PS, 300 bis 500 Uml./min, 2200 V und 25 Per./s gebaut. Ein bei der Youngstown Sheet & Tube Co. aufgestellter Motor ersetzt eine einfache Zwillings-Umsteuermaschine. Es handelt sich dabei um einen Motor für 4000 PS Dauerleistung bei 80 Uml./min und für 11 500 PS Höchstleistung bei 75 Uml./min. Die größte Umlaufzahl beträgt 135 Uml./min. Die Schwungradanlage besteht aus einem Induktionsmotor von 2500 PS bei 6600 V, 25 Per./s, 500 Uml./min, zwei Gleichstromgeneratoren von 1800 kW, 650 V und einem rd. 35 t schweren Schwungrad aus Stahlblech.

Die für die Halcomb Steel Co. erbauten Motoren für 620 bis 200 PS und 500 bis 250 PS sind die ersten Mehrphasenwechselstrom-Motoren mit verstellbaren Bürsten zum Antrieb von Walzwerken. Diese Ausführungsform ist schon 1922 für andre Zwecke ausgebildet und gebraucht worden, kommt jedoch bei Walzwerken zum ersten Male zur Verwendung. Die Geschwindigkeitsregelung übernehmen zwei Sätze Bürsten, deren jeweilige Stellung auf dem Kommutator durch eine von einem Motor angetriebene Bürsten-Verschiebeinrichtung verändert wird. Dieser Motor hat eine Einrichtung, die praktisch der von Scherbius gleich ist. Er erfüllt einen lang gehegten Wunsch nach einem Drehstrommotor mit regelbarer Geschwindigkeit dort, wo die gewünschte Leistung zu gering ist, um, in Anbetracht der hohen Anlagekosten sehr kleiner Anlagen, eine Anlage nach Scherbius oder Kraemer lohnend zu machen.

Man war auch, wie schon im Jahre 1922, bemüht, möglichst einfache Einrichtungen zu verwenden und sah auch von Sonder-Wechselstrommotoren mit Geschwindigkeitsregler ab, gebrauchte vielmehr Gleichstromantrieb mit Speisung aus Umformeranlagen.

Die elektrische Heizung wird in der Eisen- und Stahlindustrie auf verschiedenen Gebieten immer mehr angewendet. Bekanntlich dient der elektrische Strom in Stahlwerken dazu, Stahl im elektrischen Lichtbogenofen herzustellen. Im vergangenen Jahre sind nun einige neue Anwendungsgebiete hinzugekommen, so die Verwendung elektrischer Heizung bei Fertigwalzwerken für Bleche und bei Weißblech-Walzenstraßen. Mit ihr will man das Brechen der Walzen verhindern, und das scheint in der Tat gelungen zu sein. Fraglos ist die elektrische Heizung auch noch auf andern Gebieten anwendbar.

Den elektrisch geheizten Dampfkessel hat man zwar in verschiedenen Ländern Europas schon vor einigen Jahren eingeführt, in den Vereinigten Staaten ist er aber erst in den beiden letzten Jahren entwickelt worden, und das vergangene Jahr hat bis dahin für unmöglich und unwirtschaftlich gehaltene und noch nirgends in der Welt gebaute Einzelgrößen gebracht. Die Erzeugung von Dampf mit Elektrizität ist vor allem dort anwendbar, wo große Energiemengen erzeugt oder bezogen werden und wo die Frage der Belastung besonders wichtig ist. Die Entwicklung läßt erkennen, daß die elektrische Heizung überall dort zunimmt, wo elektrische Kraft auf dem Werke selbst erzeugt wird und wo es wirtschaftlich und vorteilhaft ist, die Belastungsziffer gleichbleibend zu halten. Die Brown Co. hat kürzlich in Berlin, N. H., einen Dreiraumkessel für Drehstrom aufgestellt, der mit 22 000 V und 60 Per./s arbeitet. Er ist für 1800 kW berechnet und hat eine Dampferzeugung von 24 t/h. Die Brown Co. erzeugt ihren eigenen Strom in einer Wasserkraftanlage und übermittelt ihn dem Werke mit 22 000 V. Die Anlage ist nur für den Betrieb an Sonn- und Feiertagen bestimmt. Sie ist also nur etwa 60 Tage im Jahr in Gang, und doch lohnen sich ihre Kosten und ihr Betrieb. Ein andrer elektrisch geheizter Kessel der Brown Co. ist für Zwischenstrom bei 8000 kW, 22 000 V und 60 Per./s berechnet und dazu bestimmt, in der Woche den überschüssigen Strom zu verwenden. Elektrische Kesselheizung hat wohl überall da ein weites Anwendungsgebiet, wo Überschußstrom bei schwankender Belastung ausnutzbar ist.

Neuerdings ist eine neue Form eines elektrischen Induktionsofens zu großer Vollkommenheit entwickelt worden: der „Ajax-Northrup"-Hochfrequenz-Induktionsofen, der sich vom gewöhnlichen Induktionsofen dadurch unterscheidet, daß er keinen Eisenkern hat. Er ist als Lufttransformator ausgebildet, dessen primäre Wicklung die Ofenwicklung und dessen sekundäre des Schmelzgut oder der dieses enthaltende leitende Tiegel ist. Solch Transformator ist natürlich mit einem Strom von 25 bis 60 Per./s nicht wirksam, er wird vielmehr mit Hochfrequenzstrom gespeist. Dieser wird aus einem besondern Transformator mit innen eingebauter Selbstinduktion, Kondensator und Funkenstecke, d. h. einem Schwingungskreis gewonnen, der rd. 15 000 Per./s ergibt. Der Ofen hat einen kleinen Strombedarf, nur rd. 20 kW, und wird daher hauptsächlich für Laboratoriums- oder Versuchszwecke benutzt, wo Temperaturen von 2000 bis 2500 °C gewünscht werden. Er hat sich in den Versuchsanstalten vieler Stahlwerke zur Prüfung von Stahllegierungen und zu ähnlichen Zwecken gut bewährt.

Widerstandsöfen werden immer noch verwendet und stets bei Glasur-Emaillierung gebraucht, die eine höhere Temperatur erfordert, als sie mit der gewöhnlichen Ofenart erreichbar ist. [M 99] Dr. Nd.

[1]) Iron Age Bd. 112 (1923) S. 1662

RUNDSCHAU.

Öltagung des Hamburger Bezirksvereines Deutscher Ingenieure.

1. März 1924.

In der Schaffenskraft und Schaffensfreude seiner Ingenieure besitzt Deutschland einen seiner größten Schätze in der Not. Regste Beteiligung, gediegene Vorträge, Hochstand der anschließenden Aussprache beweist dies bei jeder neuen Veranstaltung der Ingenieurvereine. Die Hamburger Öltagung war wiederum ein großer Erfolg. Über 800 Teilnehmer, darunter an 300 Gäste von auswärts, füllten den Vortragsaal der Hamburger Technischen Staatslehranstalten bis über seine Fassungskraft.

Besonders erfreulich kam das weise Zusammenwirken zwischen den Reedereien und Werften zum Ausdruck. Es spart viel Lehrgeld und ermöglicht, den Vorteil auszugleichen — vielleicht mehr als auszugleichen —, den das Ausland dadurch vor uns voraus hat, daß es kostspielige praktische Neu-Erprobungen viel eher erschwingen, Mißerfolge viel eher verschmerzen kann. Ohne kleinliche Geheimniskrämerei tauschen unsre Reedereien und Werften die gesammelten Erfahrungen aus, wodurch der Weg zu dem Ziel, rasch einige wenige unbedingt betriebsichere und -brauchbare, dabei wirtschaftlich höchstwertige Motor- und Ölfeuerungstypen für den Schiffsantrieb aus der Vielheit der jetzigen Entwicklungszeit herauszuarbeiten, erheblich abgekürzt wird.

Die Vorträge gaben in ihrer Gesamtheit geschickt einen Überblick über den ganzen Fragenkreis. Direktor Goos von der Hapag sprach zunächst über

Neueste Bestrebungen beim Schiffsantrieb durch Dieselmotoren.

Heute hat das Dieselschiff seine Eignung für lange Fahrt erwiesen. Es ist sicherlich bemerkenswert, daß sich unter den zur Zeit in England wegen mangelnder Ertragfähigkeit aufgelegten 750 000 Tonnen Schiffsraum kein einziges Dieselschiff befindet. Nach den Angaben des Vortragenden stellen sich auf Grund mehrjähriger Betriebserfahrungen mit drei Schwesterschiffen der Hapag von etwa 10 000 t Tragfähigkeit die Betriebskosten einschließlich 15 vH Verzinsung und Tilgung und einschließlich Instandhaltung beim Dieselschiff auf 80 vH und bei einem ölgefeuerten Dampfer auf 103 vH, wenn man die Betriebskosten des mit Kohlen gefeuerten Dampfers als Maßstab von 100 vH wählt. Viel Aufmerksamkeit erregte wieder der bereits bei der Dieseltagung des V. d. I. im Dezember 1923 im Mittelpunkt des Interesses stehende doppeltwirkende Zweitaktmotor hoher Drehzahl der MAN, der bis zu 2000 PS in einem Zylinder zu entwickeln gestattet. (Es muß immer wieder hinausgerufen werden, daß der alles bis dahin Geleistete weit übertreffende Erstlingsmotor dieser Bauart auf Befehl der Entente vernichtet werden mußte!) Diese Bauart verspricht ein hohes Maß an Betriebsicherheit und — nach Lösung der Brennstoffeinspritzung ohne Preßluft — an Einfachheit, bei geringem Gewicht (60 kg/PS) und Ölverbrauch.

England bringt in dem oben als Diesel-, unten als Dampfmaschine arbeitenden Still-Motor, der seinen Dampf aus den Verbrennungsgasen und dem Kühlwasser der Dieselhälfte erzeugt, auf dem Motorschiff „Dolius" der Holt-Linie eine Neuerung, sorgsam konstruiert, ziemlich schwer (130 kg/PS) und bemerkenswert sparsam im Ölverbrauch (160 g/PSh), jedoch recht verwickelt. Einen weiteren im Erfolg noch nicht gesicherten Versuch stellt der doppeltwirkende Zweitakt-Dieselmotor mit bewegtem Zylinder und Kolben der North-British Diesel Engine Works dar. Auf die Betriebserfahrungen mit diesen beiden Motoren an Bord darf man gespannt sein.

Kennzeichnend für die neueste Entwicklung des Dieselschiffsantriebes ist die Steigerung der Motordrehzahl unter Einschaltung eines Zahnradgetriebes zwischen Schnelläufer-Motor ($n \geq 200$) und Schraubenwelle ($n = 70$ bis 80 Uml./min). Blohm & Voß halten dabei Stöße und Schwingungswirkungen aus dem Getriebe durch elastische Zwischenwellen erfolgreich fern.

Ein vielleicht entscheidender Fortschritt in der Manövrierfähigkeit des Dieselschiffes, seinem bisher schwächsten Punkt, ist durch die Einfügung von getrennten Flüssigkeitskupplungen für Vorwärts- und Rückwärtsgang zwischen Motor und Schraube durch die Vulcan-Werften getan worden. Die Drehzahlen der Schraubenwelle können bis auf Null herunter reguliert werden, der Motor ist beim Anlauf entlastet, läuft stets mit unveränderter Drehzahl und in gleicher Richtung, so daß das leidige Umsteuern mit Druckluft ganz fortfällt. Diese Vorteile beim Manövrieren werden allerdings durch etwa 3 bis vH Leistungsverlust in der Flüssigkeitskupplung während der normalen Fahrt erkauft. Es entspann sich eine sehr interessante sachliche Aussprache zwischen den leitenden Ingenieuren der Werften und Reedereien über diese Neuerung.

Hr. Goos stellte ferner Richtlinien für die Konstruktion von Schiffs-Dieselmotoren auf; sie werden zusammen mit seinem Vortrag demnächst in dieser Zeitschrift gedruckt vorliegen[1]). Eindringlich stellen sie die Forderungen der Betriebsicherheit und Einfachheit an die erste, die Brennstoffersparnis bei aller Würdigung ihrer Wichtigkeit an die zweite Stelle.

[1]) Nr. 17 der VDI-Zeitschrift wird als Fachheft „Flüssiger Brennstoff" erscheinen. Das Heft wird außer einem Überblick über die Entwicklung der Gewinnungsmöglichkeiten für flüssige Brennstoffe von Prof. Schlawe voraussichtlich die in Hamburg gehaltenen Vorträge umfassen.

Schließlich entspann sich noch ein lebhafter Gedankenaustausch über die wichtige Frage des Hilfsmaschinenantriebes auf Dieselschiffen. Der elektrische Antrieb bietet in der Hand geschulten Personals bei etwas höheren Gesamtkosten doch viel praktische Vorteile. Der neuartige Antrieb der Hilfsmaschinen durch Dampf und Preßluft, den die Deutschen Werke, Werft Kiel, neuerdings ausgebildet haben, erscheint betriebstechnisch und wirtschaftlich sehr beachtenswert.

Der Übergang zur Ölfeuerung bei Dampfschiffen wirft keinerlei neue motorische Fragen auf. Aber auch hier ergibt sich an Bord eine große Reihe von technischen Aufgaben in Verbindung mit der Ölübernahme, -vorwärmung und -filterung sowie der Ausstattung und zweckmäßigen Lage, Schaltung und Überwachungsmöglichkeit der Öltanks, vor allem aber der Ausbildung der Brenner. Der hiervon handelnde Vortrag von Direktor Müller (Hamburg-Südamerikanische Dampfschiffsgesellschaft):

Betriebserfahrungen mit Ölfeuerungsanlagen an Bord

brachte die Betriebsergebnisse mit den von ihm am 23. November 1922 in der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Berlin beschriebenen Anlagen auf den Dampfern „Cap Norte" und „Cap Polonio". Für jeden echten Ingenieur und Praktiker, der würdigt, was das Mosaik der vielen Einzelerfahrungen für die wirkliche und restlose Beherrschung und Sicherheit von Schiff, Mannschaft und Maschine bedeutet, war die offene Darlegung dieser teuer erkauften Betriebserfahrungen überaus wertvoll und genußreich. Für die Konstrukteure auch ortfester Ölbrenner wichtig ist die Erkenntnis, daß, obwohl kein allgemeines Rezept für vollkommene Verbrennung der verschieden zähen und verschieden zusammengesetzten Heizöle gegeben werden kann, doch in der innigen Durchflechtung der Ölnebelstrahlen mit Luft, die auf die Temperatur des Öles vorgewärmt ist, eine grundsätzliche Voraussetzung vollen Erfolges besteht. Die Erfolge der Ölfeuerung sind bemerkenswert: 13,6 vH Kohlensäuregehalt, völliges Fehlen von Kohlenoxyd in den Feuergasen, 200 bis 220° Abgastemperatur, ein Ölverbrauch von 0,39 kg/PSh für Antrieb- und Hilfsmaschinen, 28,5 kg/m² Dampferzeugung in der Stunde, über 84 vH Kesselwirkungsgrad, — diese Ergebnisse stellen Fahrtergebnisse einer Frachtdampferreise mit 6700 PSi Antriebleistung dar. 25 vH aller Schiffe (15,4 Millionen B.-R.-T.) haben heute Ölfeuerung. Das Kesselpersonal sinkt auf größeren Schiffen auf ein Zehntel bei sehr viel leichterer Arbeit.

Zur Kenntnis der Heiz- und Treiböle

hatte Dr. Aufhäuser von der Thermochemischen Versuchsanstalt in Hamburg einen Beitrag geliefert, der in seiner Abwesenheit von Oberingenieur Hausenfelder kurz wiedergegeben wurde.

Die Ausführungen von Direktor Ernst (Deutsche Vakuumölgesellschaft) über

Dieselmaschinen-Schmierungsfragen

bejahten die Möglichkeit einheitlicher Zentralschmierung aller Motorteile mit dem gleichen Öl. Eingehend beschäftigte sich der Vortragende mit der harmloseren Ruß- und der gefährlichen Ölkoksbildung, die durch Ein- und Wiederaustritt von Schmieröl in den Verbrennungsraum entstehen kann. Öltechniker und Maschineningenieur müssen gemeinsam die Wege zu vollkommenster Schmierung suchen und finden.

Nach fünfstündiger Dauer hinterließ die Vortragsreihe und Aussprache wohl in jedem Teilnehmer die Gewißheit, daß die deutsche Technik auf diesem zukunftsreichen Gebiete durch die Not unsres Vaterlandes keineswegs ins Hintertreffen geraten wird. Der Hamburger Bezirksverein hat sich ein großes Verdienst erworben. [M 183]

Kesselschäden

Im Jahresbericht des Aufsichtsamtes für Dampfkessel und Maschinen in Hamburg, 1923, erwähnt Baudirektor Hartmann einen Unfall, der sich bei der Dampfprobe einer Schiffskesselanlage durch Herausfliegen einer Mannlochpackung ereignete, und der ein verdienter Beamter des Aufsichtsamtes, Baurat Magin, am Tage vor seiner Versetzung in den Ruhestand zum Opfer gefallen ist. Der Mannlochdeckel war vor der Probe mit einer neuen Packung versehen worden. Sein vorstehender Rand war in der Richtung der großen Achse abgenutzt, und auch die entsprechende Kante des Mantelbleches war stellenweise infolge von Anfressungen abgerundet, so daß die Packung nur auf etwa 14 mm auflag und beim Steigern des Dampfdruckes an dieser Stelle herausgedrückt wurde. Ein ähnlicher Fall hat sich bei einem Schiffskessel ereignet, bei dem die Mannlochkrempe der Stirnwand nicht eben, sondern kegelig war. Durch diese Form der Mannlochkrempe wurde das Bestreben der Packung, nach außen zu entweichen, noch erleichtert. Um Unfälle dieser Art zu vermeiden, muß man die Deckel im Mannloch mit geringem Spielraum einpassen, auf gute Beschaffenheit der Dichtungsflächen sehen und neu verpackte Deckel nach dem Durchwärmen des Kessels mehrfach nachziehen. Durchbiegungen, die an gepreßten Bügeln oder Deckeln der Mannlochverschlüsse beobachtet wurden, lassen sich durch Wahl ebener Mannlochdeckel von genügender Dicke verhindern.

Auf einem Binnenschiff wurde ein Maschinist dadurch verletzt, daß in dem Augenblick, wo er die Feuertür öffnete, ein Schmelzpfropfen in der Feuerbüchse, dessen Gewinde schadhaft war, herausflog. Da die Wirkung solcher Schmelzpfropfen bei Wassermangel an und für sich

fraglich ist, so sollte man sie nur verwenden, wenn sie sorgfältig durchgebildet sind.

Elektrische Schweißungen werden vielfach zum Ausbessern von Rissen oder zum Ausfüllen von abgerosteten Stellen verwendet. Sie müssen aber sehr sorgfältig ausgeführt und bei größerem Umfange sachgemäßt ausgeglüht werden, wenn man Spannungen im Material und Rißbildungen in der Nähe der Schweißungen vermeiden will. Ein Flammrohr, das erneuerungsbedürftig ist, an dem Ende stumpf abzuschneiden und das neue Stück autogen anzuschweißen, ist eine besonders schwierige Arbeit, die gewöhnlich mißrät.

Einbeulungen wurden an einem Zweiflammrohrkessel mit Ölfeuerung durch starke Schlammablagerung und an einem Zweiflammrohrkessel mit Gasfeuerung durch Gasexplosion hervorgerufen. Auch an einer Heizkesselanlage mit zwei Kesseln hat sich ein schwerer Unfall dadurch ereignet, daß beim Anheizen an einem der beiden Kessel beide Schieber geschlossen waren und auch die Umgehungsleitung zum Expansionsgefäß infolge Festsitzens des Rückschlagventils versagte. Solche Unfälle sind bei neueren Anlagen ausgeschlossen, weil Absperrungen in den Steig- und Rücklaufleitungen verboten sind. Erwähnenswert ist noch, daß sich die Versuche, statt der teuren Koks Brennöl für den Betrieb von Heizkesseln anzuwenden, nicht bewährt haben und die Ölbrenner zumeist wieder ausgebaut worden sind. [M 182]

Berichtigung.

Doppelkopfisolator, Bauart Motor. In dem Artikel in Nr. 7 S. 159 muß es am Schluß des ersten Absatzes heißen: denn es wird eine geeignete Porzellanmasse benutzt, die 5000 bis 7000 kg Zugbeanspruchung des Rumpfes zuläßt. [M 181]

Aus dem Ausland.

Elektrische Bahnen.

Die Elektrisierungsarbeiten der französischen Südbahn.

Der Landstrich Frankreichs parallel der Pyrenäenkette, der vom Gebirge bis nördlich gegen Bordeaux reicht, wird in der Hauptsache von den Chemins de fer du Midi bedient und weist keine Kohlenlager, dafür aber leistungsfähige Wasserkräfte im Pyrenäengebiet auf, deren Ausnützung für den Bahnbetrieb naheliegt. Bereits vor dem Kriege bestand elektrischer Betrieb mit Gleichstrom von 850 V und Triebwagen auf der Schmalspurstrecke Villefranche de Conflent-Bourg Madame (Dep. Ostpyrenäen). In den Jahren 1911 bis 1919 wurden sodann die Vollspurstrecken Villefranche - Perpignan, Lannemezan - Arreau, Tarbes-Bagnères de Bigorre und Lourdes-Lafitte für den Betrieb mit Einphasen-Wechselstrom von 12 000 V und 16⅔ Per./s ausgerüstet. Auf allen diesen Linien verkehren Personenzüge mit Motorwagen, die von der Westinghouse-Gesellschaft geliefert worden sind.

Die Strecke Villefranche-Perpignan wurde gleichzeitig als Versuchstrecke für 1 C 1-Güterzuglokomotiven benutzt. Vier Firmen bauten hierfür je eine Lokomotive mit Stangenantrieb (AEG, Berlin, Brown, Boveri & Cie., Westinghouse und Soc. Thomson-Houston, Paris) und eine Firma eine Lokomotive mit Einzelachsantrieb, bestehend aus je einem Motor mit Zahnradvorgelege, konzentrischer Hohlwelle um die Treibachse und Kreuzgelenkkupplung zwischen Hohlwelle und Treibachse (Bauart Jeumont). Die Lokomotiven der AEG und von BBC kamen nicht zur Abnahme. Die AEG-Lokomotive diente seit 1910 auf der preußischen Staatsbahnstrecke Dessau-Bitterfeld den dortigen Versuchen, während die BBC-Lokomotive späterhin als Versuchslokomotive für Einzelachsantriebe, Bauarten BBC und Tschanz, auf der schweizerischen Bundesbahnstrecke Bern-Thun der technischen Entwicklung des elektrischen Hauptbahnantriebes nutzbar gemacht wurde. Die übrigen Lokomotiven wurden abgenommen und in Dienst gestellt.

Eine weitere Linie Pau-Montréjeau war fast völlig ausgerüstet bis auf die fehlenden Triebfahrzeuge, als gegen Ende des Weltkrieges in Frankreich der Entschluß reifte, die Netze der Paris-Orléans-Bahn, der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn und der Südbahn einheitlich für Gleichstrombetrieb mit 1500 V, auf gewissen Strecken mit 3000 V, auszurüsten[1]). Die Südbahngesellschaft mußte danach auch den Umbau ihrer bestehenden Wechselstromlinien in Angriff nehmen.

Das neue Programm, das in etwa 20 Jahren erledigt werden soll und sich auf etwa 3300 km Streckenlänge erstreckt, teilt das Bahnnetz in zwei Zonen: Das westliche Gebiet umfaßt folgende Linien: 1. Dax-Toulouse mit Abzweigungen nach Pierrefitte, Bagnères de Bigorre, Arreau, Luchon; 2. Pau-Bedous und Pau-Laruns; 3. Bordeaux-Irun, mit Abzweigungen nach Arcachon und Biaritz; 4. Bayonne-Puyoo und Tarbes-Agen; 5. Toulouse-Auch, Bayonne-St. Jean Pied de Port und Bayonne-St. Etienne de Baïgorry; 6. Morcense-Tarbes, Lannemezan-Auch. In der östlichen Zone liegen die Linien: Toulouse-Ax-les Thermes, Narbonne-Port Bou, Perpignan-Villefranche, Béziers-Neussarges nebst zugehörigen Abzweigungen. Die erste Gruppe der westlichen Zone ist seit Anfang 1923 in Betrieb, für den zehn Lokomotiven der ersten Anlieferung dienen.

An Kraftwerken sind die Pyrenäenwerke Soulom und Eget bereits im Betrieb. Soulom nutzt ein Hochdruckgefälle von etwa 250 m und ein Mitteldruckgefälle von 115 m im Durchschnitt aus, beide Gefälle durch je drei Turbinen, und zwar Peltonräder für Hochdruck, Francisturbinen für Mitteldruck, die je 3500 PS leisten und mit je einem Drehstromerzeuger für 10 500 V, 50 Per./s und 2400 kW bei 500 Uml./min unmittelbar gekuppelt sind. Die Maschinenspannung wird auf 60 kV für den Betrieb der Unterwerke erhöht. Das Kraftwerk Eget, mit einem künstlichen Staubecken bei Oule verbunden, nutzt 710 m Gefälle mittels sieben Peltonturbinen von je 5000 PS aus, die mit je einem Drehstromerzeuger für 600 V, 50 Per./s und 3500 kW Leistung unmittelbar gekuppelt sind. Die erzeugte Spannung wird auf 60 kV auftransformiert und dem Unterwerk Lannemezan zur weiteren Erhöhung auf 150 kV zugeführt.

An weiteren Werken sind im Bau oder Entwurf:

1. Die drei Werke des Tales von Ossau (bei Laruns): Artouste, Miègebat und Hourat. Sie nutzen in Stufenanordnung die Wasserkräfte des Sees von Artouste und verschiedener Gebirgswässer der Umgebung aus. Artouste wird mit drei Peltonturbinen von je 10 000 PS bei 775 m Gefäll ausgerüstet, die mit je einem Drehstromgenerator von 7000 kW, 10 000 V und 50 Per./s gekuppelt sind. Als Stromerzeuger dienen die alten Einphasenmaschinen aus Soulom, die umgewickelt worden sind. Miègebat wird aus einem Staubecken von 125 000 m³ durch eine 7650 m lange Druckleitung gespeist und nutzt ein Gefälle von 380 m aus. Die Ausrüstung umfaßt fünf Peltonturbinen von je 10 000 PS, gekuppelt mit je einem Drehstromerzeuger von 7000 kV bei 10 000 V, 50 Per./s und zwei Erregergruppen von je 500 PS Turbinenleistung. Hourat, mit der gleichen elektrischen Ausrüstung und Leistung wie Miègebat, nutzt eine Stufe von 200 m Nutzgefäll aus.

Diese drei Werke sind durch eine 60 kV-Drehstromleitung miteinander verbunden. Ihre Gesamtleistung im Jahresmittel wird etwa 28 000 kW betragen, kann aber zu jeder Jahreszeit auf 60 000 kW Spitzenleistung gebracht werden. Der Strom wird durch ein Unterwerk bei Hourat auf 150 kV transformiert.

2. Die drei Werke des Tales der oberen Ariège: Saillens, Merens und Ax-les Thermes, für die der 2100 m ü. M. gelegene See von Lavoux als Ausgleichbecken für den Jahresbedarf ausgenützt wird. Saillens wird drei Maschinensätze von 10 000 PS, ähnlich den bereits erwähnten, für 700 m Nutzgefäll erhalten. Merens, aus einem Staubecken von 86 000 m³ Inhalt durch einen 6 km langen Stollen gespeist, wird ein Gefälle von 190 m durch drei Maschinensätze nutzbar machen, desgleichen Ax-les Thermes 330 m Gefälle durch fünf Maschinensätze von je 10 000 PS.

Zwei Drehstromleitungen werden diese Werke mit dem Unterwerk Ax-les-Thermes verbinden, wo die Spannung von 60 auf 150 kV erhöht wird. Die mittlere Jahresleistung dieser Werke wird etwa 23 000 kW, die Spitzenleistung 50 000 kW betragen.

Das Hochspannungsnetz mit 150 kV umfaßt die erwähnten Unterwerke von Hourat, Lannemezan und Ax-les Thermes. Diese Unterwerke sind als Freiluftstationen gedacht und sollen Transformatorgruppen von je 20 000 kW erhalten, die je aus drei Einphasentransformatoren bestehen, die als Öltype mit Wasserkühlung ausgebildet sind. Das 150 kV-Netz bringt die Energie zu Unterwerken in Dax, Perrac bei Bordeaux und Portet-Saint-Simon bei Toulouse, wo die Spannung wieder auf 60 kV herabgesetzt wird. Diese Unterwerke erhalten Synchronumformer, deren Regelung es gestattet, die Spannung von 60 kV bei allen Belastungen gleich zu halten und den Leistungsfaktor (cos φ) des Netzes zu erhöhen. Außerdem sind Trennstellen bei Pau und bei Ychoux vorgesehen.

Die 150 kV-Leitungen werden an Gittermasten mittels Traversen und 9- bis 11gliedrigen Tellerisolatoren in bekannter Weise aufgehängt. Die Ausführung der Leitung bietet nichts neues. Der Leiterquerschnitt beträgt 143 mm² und wird durch ein 19drähtiges Kupferkabel gebildet. Die geringste Höhe des Leiters über dem Erdboden beträgt 8 m, der kleinste Abstand zwischen den Leitern etwa 3,8 m. Der Mastabstand beträgt in der Regel 200 m.

Der Schutz gegen Überstrom wird durch Überstrom-, Rückstrom- und Differentialrelais bewerkstelligt. Letztere dienen dazu, bei Parallelführungen zweier Hochspannungsgestänge Spannungsunterschiede zwischen den beiden Drähten gleicher Phase, die einen Kurzschluß oder Überstrom hervorrufen können, unschädlich zu machen durch Abschalten des ursächlichen beschädigten Leitungsstranges. Der Schutz gegen Überspannungen wird durch ein Erdungsseil, das die Spitzen sämtlicher Hochspannungsmaste verbindet, gebildet. Der Nullpunkt des 150 kV-Netzes wird an den drei von einander ziemlich entfernten Punkten Pessac, Portet-Saint Simon und Hourat geerdet. Schließlich sind sämtliche ein- und ausgehenden Fernleitungen dreiphasig durch Blitzhörner mit Aluminiumzellen als Erdungsdämpfung geschützt.

Die 60 kV-Leitungen haben den gleichen Selektivschutz wie das 150 kV-Netz. Sie versorgen die Bahnunterwerke und werden auf den Masten der Fahrleitung auf Schutzisolatoren verlegt. In wichtigen Abschnitten sind die Leitungen doppelt ausgeführt. Zum Speisen kleinerer Transformatoren für Bahnhofbeleuchtung, Signalanlagen und Hilfsmotorenbedarf wird die Spannung an passenden Orten nochmals auf 10 000 V herabgesetzt. Auch diese Leitungen werden auf den Fahrleitungsmasten geführt. Diese tragen, wie Abb. 1 zeigt, auch die Speiseleitungen der Fahrdrähte. Sie sind teils als Gittermaste (alte Bauart), teils als Betonmaste (Nachkriegsbauart, Abb. 1) ausgebildet.

Bemerkenswert ist die Anordnung der eigentlichen Fahrleitung für 1500 V: Ein stark durchhängendes Stahlseil ist mittels zweier aneinandergehängter Nußisolatoren an Mastauslegern befestigt und trägt an Hängebändern einen aus Hartkupfer bestehenden Hilfsdraht, an dem wiederum mittels Klemmen der eigentliche Hartkupfer-Fahrdraht angebracht ist.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 26.

Hilfs- und Fahrdraht liegen in gleichmäßigem geringem Abstand senkrecht übereinander. Um nun eine Nachspannung des Fahrdrahtes bei Temperaturänderungen zu vermeiden, hat man in Kurven, wie auch Abb. 1 andeutet, die Länge des Speise- und des Fahrdrahtes zwischen zwei Masten, die in der Geraden natürlich fast dem Abstand der beiden Masten entspricht, verkürzt, so daß der untere Teil der Kettenaufhängung gegenüber den festen Aufhängepunkten des oberen Teiles nach der Innenseite der Krümmung gezogen wird.

Diese künstliche Verspannung der Krümmungsabschnitte muß auf die benachbarten geraden Strecken einwirken, und bei genügendem Wechsel von geraden und gekrümmten Strecken wird diese erzwungene Einstellung der Aufhängung Längenänderungen der Drähte, hervorgerufen durch Temperaturschwankungen, ausgleichen können, indem sich bei heißem Wetter der Fahrdraht nach der Außenseite der Krümmungen ausbauchen will und umgekehrt bei Kälte nach innen zieht. Die angrenzenden Leitungsdrähte der Geraden werden also stets nach der Krümmung hin gezogen. Auf der Strecke Toulouse-Dax hat sich diese einfache Selbstspannung bewährt.

Auch die Beanspruchungen durch den Bügeldruck der Fahrzeuge werden hierdurch gut verteilt. Sogenannte harte Aufhängepunkte des Fahrdrahtes, wie Speisekabelanschlüsse, Streckentrennungen und Weichen, sind Gegenstand besonderen Studiums gewesen. Streckentrennung wird erzielt durch zwei in 200 mm Abstand nebeneinander geführte Aufhängungen über eine gewisse Strecke; die Enden beider Abschnitte verlaufen dann angehoben zu den Endmasten des Übergangsabschnittes. Die Fahrleitung wird dadurch verankert, daß das Tragseil über eine Isolatorenkette, eine Rolle am Mastausleger und eine Spannvorrichtung am oberen Mast-

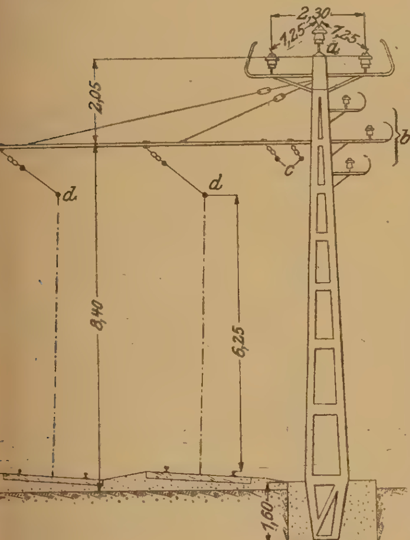


Abb. 1. Fahrleitungsmast mit 60 kV-Leitung *a*, 10 kV-Leitung *b*, Speisedrähten *c* und Fahrdrähten *d* über Gleiskrümmung von 300 m Halbmesser.

ende befestigt wird. Hilfs- und Fahrdraht werden durch eine Klemme miteinander fest verbunden und diese an die Isolatorenkette des Tragseiles angebunden.

Die Querschnitte der einzelnen Stränge der Fahrleitung betragen: Tragseil 79 mm², Hilfs- und Fahrdraht je 100 mm². Letztere beiden haben achtförmigen Querschnitt. Das Tragseil hat 100 kg/mm², die beiden Kupferdrähte 38 kg/mm² Zerreißfestigkeit.

Außer dieser Fahrleitung beansprucht die Ausrüstung der Bahnunterwerke noch besonderes Interesse. Sie dienen zur Umformung des zugeleiteten Drehstromes von 60 kV Gleichstrom von 1500 V für die Fahrleitung. Um den Spannungsabfall in der Fahrleitung auf höchstens 20 vH zu begrenzen, mußte man eine große Zahl von Umformerwerken errichten. Die Strecken Dax-Toulouse mit Abzweigungen erforderten 18 Unterwerke. Zur Umformung dienen synchrone Einankerumformer und Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Der Hochspannungskreis der Unterwerke bildet je eine Trennstelle für die 60 kV-Leitung. Sämtliche Hochspannungseinrichtungen sind im Freien aufgestellt, einschließlich der Transformatoren, die die Spannung von 60 kV auf 290 oder 580 V herabsetzen, je nachdem die primär sechsphasig geschalteten Einankerumformer 800 oder 1600 V Gleichstrom abgeben. Demgemäß sind Unterwerke vorhanden mit je zwei Umformern von 750 bis 800 V, die in Reihe geschaltet sind, oder solchen mit 1500 bis 1600 V Klemmenspannung. Diese 1600 V-Umformer haben sich gegenüber den andern als vorteilhafter erwiesen, da sie die Schalteinrichtungen bedeutend vereinfachen. Es sind achtpolige Maschinen von 750 Uml./min mit besonderm Erreger. Der Spannungsabfall zwischen Vollast und Leerlauf beträgt nur 5 vH. Sie leisten je 750 kW auf 2 h, 1000 kW auf 5 min und 500 kW dauernd. Durch Stromrückgewinnung aus den Zügen kann bis 75 vH der Höchstleistung aufgenommen werden.

Bemerkenswert ist die Verwendung von Quecksilberdampf-Gleichrichtern, Bauart Brown, Boveri & Cie. Eine Gleichrichtergruppe umfaßt einen Transformator für 60 000/1250 V mit Parallelschalt-Drosselspule (sechsphasig), zwei Gleichrichter mit je 6 Anoden und Schaltzubehör. Die Gleichrichter formen je eine Leistung von 600 kW um, paarweise also 1200 kW bei 1575 V. Die Zylinder werden durch Wasser gekühlt. Die zulässigen Überlastungen sind ebenso hoch wie bei den Einankerumformern, also 50 vH während 2 h und 200 vH während 5 min. Die Luftleere in den Zylindern wird durch eine Ölpumpe mit umlaufendem Kolben in Verbindung mit einer Quecksilber-Hochvakuumpumpe erhalten.

Abgesehen von der einfachen Bedienung und den geringen Unterhaltungskosten gegenüber den Maschinenumformern ist die geringe Veränderlichkeit des Wirkungsgrades gerade für den Bahnbetrieb bedeutsam. Der Wirkungsgrad wird bei Überlastungen eher besser als bei Dauerlast und sinkt bei Teillasten von 30 bis 50 vH nur um 5 bis 6 vH gegenüber Dauerlast. Die in den Unterwerken Pau, Lourdes, Tarbes, Lannemezan und Montréjeau befindlichen Gleichrichter haben, zwischen Transformator-Niederspannungsseite und Bahnsammelschienen gemessen, Wirkungsgrade von 93 bis 98 vH, je nach ihrer Belastung in den obigen Grenzen.

Über die Fahrzeuge wird noch besonders berichtet werden.

[R 66] A. Marschall.

Schiffe und Seewesen.

Der Weltschiffbau im Jahre 1923.

Zur Jahreswende hat Lloyds Register of Shipping wieder wie gewöhnlich einen abschließenden Jahresbericht über die Bautätigkeit in den hauptsächlichsten Schiffbau treibenden Ländern gebracht, dem wir die in Zahlentafel 1 enthaltenen Angaben entnehmen. Sie zeigen, daß sich die Schiffbautätigkeit im vergangenen Jahr im allgemeinen weiter

Zahlentafel 1. Übersicht über den Weltschiffbau im Jahre 1923 im Vergleich zu andern Jahren. Schiffe über 100 B.-R.-T.

	1900	1910	1913	1919	1922	1923	Unterschied zwischen 1923 und 1922
Großbritannien und Irland	1 442 471	1 143 169	1 932 153	1 620 442	1 031 081	645 651	— 385 430
Britische Kolonien	9 563	26 343	48 339	358 728	62 765	41 263	— 21 502
Österreich-Ungarn	14 889	14 304	61 757	—	—	—	—
Dänemark	11 060	12 154	40 932	37 766	41 016	49 479	+ 8 463
Frankreich	166 858	80 751	176 095	32 663	184 509	96 644	— 87 865
Deutschland	204 731	159 303	465 226	?	575 264	358 273	— 216 991
Holland	45 074	70 945	104 296	137 086	163 132	65 632	— 97 500
Italien	67 522	23 019	50 356	82 713	101 177	66 523	— 34 654
Japan	4 543	30 215	64 664	611 833	83 419	72 475	— 10 944
Norwegen	32 751	36 931	50 637	57 578	32 391	42 619	+ 10 228
Schweden	5 735	8 904	17 524	50 971	30 038	20 118	— 9 920
Vereinigte Staaten, Ozean	190 962	177 601	228 232	3 579 826	97 161	96 491	— 670
„ „ Große Seen	142 565	153 717	47 216	495 559	21 977	76 326	+ 54 349
Andere Länder	15 439	20 497	43 455	79 734	43 154	11 687	— 31 467
	2 304 163	1 957 853	3 332 882	7 144 549	2 467 084	1 643 181	— 823 903

verringert hat. Nur in Dänemark, Norwegen und den Vereinigten Staaten, die jedoch nur rd. 4 vH des Schiffsraumes vom Jahre 1919 gebaut haben, hat sie etwas zugenommen. In den übrigen Ländern hat sie im Vergleich zum Jahre 1922 abgenommen, und zwar in Großbritannien und Irland sowie in Deutschland um 37 vH, in Frankreich um 48 vH, in Holland gar um 60 vH, in Italien um 35 vH, in Japan, das wieder beim Vorkriegsstand angelangt ist, um 13 vH, in Schweden um 33 vH.

Dieser Niedergang trifft vor allem England, dessen Werften schon überhaupt weniger beschäftigt sind, weil zurzeit nur wenige Kriegschiffe gebaut werden. Die unmittelbare Ursache des Niederganges ist die allgemeine Wirtschaftslage auf dem Weltmarkt, als mittelbare ist die französische Ruhrbesetzung zu nennen, die die zu Anfang des vorigen Jahres einsetzende Belebung des Welthandels wieder vernichtet hat. Während vor dem Kriege in England durchschnittlich etwa ⅙ der Helgen leer standen, sind es heute nur wenig mehr als ⅕, auf denen gearbeitet wird. ⅗ der Helgen stehen ganz leer, und auf jedem zehnten steht ein Schiff, an dem die Arbeit ruht.

Der auf deutschen Werften im vergangenen Jahre von Stapel gelassene Schiffsraum beträgt etwas über ⅕ der gesamten im vorigen Jahre zu Wasser gelassenen Raumes, womit Deutschland hinter England an zweiter Stelle steht. Ob das auch im laufenden Jahre der Fall sein wird, ist fraglich, da Bauaufträge zurzeit selten geworden sind.

In Amerika hat die Bautätigkeit an den Großen Seen im letzten Jahre sehr zugenommen, ein Zeichen dafür, daß sich Amerika mehr und mehr zu einem abgeschlossenen Wirtschaftsgebiet entwickelt.

[M 91] Dr. W. S.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Caratteristiche costruttive delle Turbine idrauliche degli impianti attuali. Von Ing. Guido Gambardella. Mailand-Neapel 1923, Antonio Vallardi.

Die italienische Fachliteratur wies, abgesehen von den Erstausgaben von Belluzzo, bis vor wenigen Jahren kein zusammenfassendes Werk über Wasserkraftmaschinen auf, und auch in dem Buch von Belluzzo vermißte mancher Leser eine eingehende Darstellung und Kritik der neuzeitlichen Konstruktionen und der Betriebseigenschaften der Maschinen. In letzter Zeit ist das Versäumte gründlich nachgeholt worden. Kurz nacheinander erschienen die Erweiterung und Neubearbeitung des Buches von Belluzzo und die Werke von Lo Presti und Gambardella. Das mag viel scheinen; in Wahrheit bilden die drei fast eines, insofern, als Belluzzo neben Beschreibung von Ausführungen doch hauptsächlich die rechnerischen Grundlagen und den allgemeinen Teil des Fachgebietes und Lo Presti die neuzeitlichen Konstruktionen italienischer Firmen behandelt, während sich Gambardella die Aufgabe gestellt hat, das Gebiet vom Standpunkt des projektierenden Ingenieurs oder des fachkundigen Betriebsmannes einer Wasserkraftanlage aus zu beleuchten und zu zeigen, wie die Auswahl unter den verschiedenen Möglichkeiten zu treffen ist, damit die Lösung für die Anlage als Ganzes möglichst glücklich wird. Zum vollen Verständnis des angegebenen Gedankenganges ist natürlich ein gewisses Eingehen auf konstruktive Einzelheiten unumgänglich.

Der Stoff ist demnach in zwei Hauptabteilungen zerlegt: I. Allgemeine Eigenschaften und maßgebende Zahlenwerte, II. Ausbildung der Hauptteile der Maschinen. Im ersten Teil finden sich Abschnitte über spezifische Drehzahl, Anwendung der verschiedenen Turbinenarten, Höchstleistung einer Turbine, Wirkungsgrad und Regelung. Der zweite behandelt unter den Francisturbinen deren Laufrad, das Saugrohr, Wellen und Lager, das Leitrad, das Gehäuse, die Frage: senkrechte oder wagrechte Welle, ferner unter den Peltonrädern deren Düsen, Schaufeln und Ablenker.

Die erste Abteilung ist entschieden die wertvollere; sie enthält viele selbständige Gedanken, macht die Abhängigkeit der Turbine von den Eigenschaften und den Anforderungen des elektrischen Teils der Anlage klar und gibt nützliche Winke für den Entwurf neuer Anlagen. Dabei ist auch die wirtschaftliche Seite der Frage nicht vernachlässigt; einige gut gewählte Beispiele über Baukosten verschiedener Lösungen für die gleiche Anlage, wovon mehrere der heute in Amerika geübten Praxis entsprechen, bilden eine willkommene Erläuterung der aufgestellten allgemeinen Beziehungen. Der zweite Teil krankt m. E. etwas daran, daß von der Erläuterung durch die Zeichnung zu wenig Gebrauch gemacht worden ist. Zwar wird sich der Fachmann auf dem Gebiet der Wasserturbinen überall zurechtfinden; allein gerade für diesen Teil der Leser bieten die Ausführungen über die Hauptteile der Turbine ohnedies fast nur Bekanntes; dagegen fällt es einem dem Gebiet ferner stehenden Betriebsmann ziemlich schwer, ohne weitere Abbildungen all das Wertvolle aus dem Buch herauszulesen, was es ihm zu bieten vermöchte; dem Studierenden wird es kaum besser gehen.

Doch wiegt der eben gemachte Einwurf nicht allzu schwer; er betrifft mehr die Form als die Sache. Im ganzen bildet das Buch eine glückliche und willkommene Bereicherung der italienischen Fachliteratur. Möge es den weiten Leserkreis finden, den es verdient.

[B 124] R. Thomann.

Die darstellende Geometrie des Maschinentechnikers. Von A. Kirschke. 1. Heft, 3. Aufl. Leipzig 1923, Seemann & Co. 65 S. m. 148 Abb.

Wer darstellende Geometrie treiben will, sei es als Schüler oder als Lehrer, wird an diesem Büchlein nicht vorbeigehen. Der Verfasser setzt nur sehr wenig voraus, baut auf dem einfachsten auf, so daß sich seine Arbeit in der Hand des Anfängers und des Lehrers gute Verdienste erwirbt. Die vorliegende, dritte Auflage ist gegen die ersten nicht wesentlich verändert, jedoch erweitert und an manchen Stellen vertieft. Eine eingehende Besprechung erübrigt sich daher.

Im Abschnitt „Parabelkonstruktionen“ vermisse ich einen Hinweis auf die „kubische“ Parabel, was doch wertvoll wäre, da gerade vom Techniker bei der Konstruktion von Achsen die kubische Parabel aufzuzeichnen verlangt wird. Diese Konstruktion könnte hinter Bild 112 noch erwähnt werden. [B 54] H. R. Müller.

Contribution à la théorie des moteurs à combustion interne. Von M. Brutzkus. Paris 1923, Gauthier-Villars & Cie. 75 S. mit Abb.

Sammlung Göschen Bd. 716: **Die Dampfturbinen.** Ihre Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion. Von Prof. C. Zietemann. Teil 3. 136 S. m. 112 Abb. Berlin u. Leipzig 1924, W. de Gruyter. Preis Gm. 1,25.

Regelungen der Dampfturbinen, Sicherheitsvorrichtungen, Neuzeitliche Bauarten von Dampfturbinen. Zwischendampfverwertung. Abdampfverwertung. Entnahme. Zweidruckturbinen. Wärmespeicher.

Die Schreibmaschine und ihre Entwicklungsgeschichte. Von E. Martin. Bd. 1 und 2. Pappenheim 1923, Joh. Meyer. 775 S. m. zahlreichen Abb. Preis Gm. 3,90 je Bd.

Fehlands Ingenieur-Kalender 1924. Für Maschinen- u. Hütten-Ingenieure, herausgegeben von Prof. P. Gerlach. In zwei Teilen. 46. Jg. Berlin 1924, Julius Springer. Preis Gm. 4.

Die Venturimessung für Flüssigkeiten und Gase. Von Obering. W. E. Germer. Mannheim 1923, Bopp & Reuther.

Die heutige Metall-Technik. 4. Bd.: Die Feuerbearbeitungen der Metalle. Von Gh. Th. Stier d. Ä. 3. Aufl. Leipzig, Dr. Max Jänecke. 241 S. m. 320 Abb. Preis Gm. 3,85.

Österreichisches Montan-Handbuch. Mitteilungen über den österreichischen Bergbau. 4. Jg. 1923. Verfaßt im Bundesministerium für Handel und Verkehr, herausgegeben vom Verein der Bergwerksbesitzer Österreichs. Wien 1923, Verlag für Fachliteratur G. m. b. H. 152 S. Preis Ö. Kr. 60.

Statistik der bergbaulichen Betriebe, staatliche Bergverwaltungen, Berg- und Hüttenschulen in Leoben, Bergbauingenieure, Bergarbeiterverbände.

Tonindustrie-Kalender 1924 mit Bezugsquellen für die Baustoffindustrie. Berlin, Tonindustrie-Zeitung. Preis Gm. 2.

Der technische Teil behandelt unter anderem die Vorbereitungen zu Beginn der neuen Kampagne, die Nutzbarmachung geringwertiger Brennstoffe im Ringofen, was beim Kauf einer Ziegelpresse zu beachten ist. Untersuchung feuerfester Steine und der Druckfestigkeit in der Ton-, Zement- und Kalkindustrie.

Farben- u. Lackkalender. Herausgegeben von Dr. H. Wolff u. W. Schlick. Stuttgart 1923, Wissenschaftliche Verlagsges. m. b. H. Preis Gm. 6,50.

Der technisch-wissenschaftliche Teil enthält Abhandlungen über anorganische Körperfarben, Prüfung von Anstrichen, Bestimmung des Ölgehaltes von Farben, Teerfarben, Farbenlacke usw.

Die Lederfabrikation. Praktisches Handbuch für die gesamte Lederindustrie. Von J. Borgmann und O. Krahner. 2. Aufl. Teil 1: Die Unterlederfabrikation. 288 S. m. 43 Abb. Preis Gm. 16. Teil 2: Die Oberlederfabrikation. 188 S. m. 20 Abb. Preis Gm. 8. Teil 3: Die Feinlederfabrikation. 472 S. m. 42 Abb. Preis Gm. 10. Berlin 1923, M. Krayn.

AEG Elektrizität in der Papier-Industrie. Berlin 1923, Allgem. Elektrizitäts-Gesellschaft.

L-P-W-Kalender. Der Betriebsleitung gewidmet von den Langbein-Pfanhauser Werken A.-G. Leipzig. Wien 1924.

Rüstungsbau. Aufstellgerüste für eiserne und Lehrgerüste für gewölbte Brücken nebst Arbeits- u. Hilfsgerüsten. Von Prof. H. Kirchner. Berlin 1924, Wilhelm Ernst & Sohn. 232 S. m. 486 Abb. Preis Gm. 13,5, geb. 16,5.

Der Brückenbau. Nach 8 Vorträgen von Dr. J. Melan. 3. Aufl. 2. Bd.: Steinerne Brücken und Brücken aus Beton und Eisen. Leipzig und Wien 1924, Franz Deuticke. 459 S. mit 393 Abb. Preis Gm. 20.

Joseph Melan. Zum siebzigsten Geburtstage gewidmet von seinen dankbaren Schülern. Leipzig u. Wien 1923, Franz Deuticke. 322 S. Preis Gm. 15.

Das Fernsprechen im Weitverkehr. Deutsche Beiträge zur Frage des europäischen Fernsprechnetzes. Zusammengestellt im Reichspostministerium Berlin im November 1923. Berlin 1923, Wilhelm Ernst & Sohn. 110 S. und 1 Karte.

Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Grundlagen. Praktische Anwendung auf Kabel, Verstärker, Spulen usw. Deutsche technische Leistungen auf dem Gebiet des Fernsprechwesens.

Catalogue of the Collections in the Science Museum South Kensington. Land Transport. III. Railway Locomotives and Rolling Stock. By E. A. Forward. London 1923, Imperial House, Kingsway. Preis 1 sh.

Aufgabensammlung aus der Wärmemechanik. Von Dipl.-Ing. C. Zietemann. Leipzig 1923, Dr. Max Jänecke. 222 S. m. 71 Abb. u. 1 Tafel. Preis Gm. 4,65.

Das Entwerfen von graphischen Rechentafeln (Nomographie). Von Prof. Dr.-Ing. P. Werkmeister. Berlin 1923, Julius Springer. 193 S. mit 164 Abb. Preis Gm. 9, geb. 10.

Mathematische Schwingungslehre. Von Dr. E. Schneider. Berlin 1924, Julius Springer. 194 S. m. 49 Abb. Preis Gm. 8,40, geb. 9,15.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 12 | SONNABEND, 22. MÄRZ 1924 | BD. 68

INHALT

Neuere Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn.

Von F. Meineke.

Gemeinsame Merkmale neuer Lokomotiven der Reichsbahn sind große Roste, Barrenrahmen und Laufachsen bei Güterlokomotiven. Sie werden kritisch besprochen und Verfahren zur Berechnung der Überhitzer und Rahmen angegeben.

Die Deutsche Reichsbahn hat bei der Übernahme der einzelnen Länderbahnen sofort mit der Entwicklung einheitlicher Bauarten begonnen und bereits zwei neue Typen, die 1 D 1-Personenlokomotive P 10 und die 1 E 1-Tenderlokomotive T 20, herausgebracht. Sie schließen sich im allgemeinen der Bauart der älteren 1 E- und 1 D-Güterlokomotiven [G 12 und G 8[3]] an, so daß die Reichsbahn über vier Typen verfügt, die viele gemeinschaftliche Merkmale haben; ihre Hauptabmessungen sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Wesentliche Merkmale aller dieser Lokomotiven sind die große über den Rädern liegende Rostfläche, der Barrenrahmen und Laufachsen auch bei den Güterlokomotiven.

Die Notwendigkeit, auch minderwertige Brennstoffe zu verfeuern, führt häufig zur Vergrößerung des **Rostes** über das bei guten Kohlen übliche Maß hinaus. Diese Vergrößerung der Rostflächen bringt aber manchen Nachteil mit sich, wie z. B. Vermehrung des Gewichts, Verminderung der Brenngeschwindigkeit, und führt in der Folge zur Vergrößerung des Luftüberschusses, Herabsetzung der Brenntemperatur und Verschlechterung des Kesselwirkungsgrades; ferner wird im Bereitschaftsdienst mehr Kohle verbraucht. Man sollte also mit der Vergrößerung des Rostes vorsichtig sein und ihm nur die Fläche geben, die zur Erreichung der Kesselleistung erforderlich ist. Hierfür hat Strahl passende Werte gegeben[1]), indem er die Berechnung der Leistung unmittelbar von der Rostfläche abhängig machte. Bei vergrößerten Rosten gelten dann die Zahlen nicht mehr, und da nun die Leistung auch nicht auf die Heizflächen bezogen werden darf, weil ihr Wert zu schwankend ist, so fehlt alle Grundlage zur Beurteilung und Vorausberechnung der Leistung. Deshalb ist es zweckmäßig, ähnlich wie Strahl für die wirkliche Heizfläche die äquivalente oder Rechnungsheizfläche einsetzte, an Stelle der wirklichen Rostfläche R mit der Rechnungsrostfläche $\mathfrak{R}$ zu arbeiten. Die Beziehung $R = \varrho \mathfrak{R}$ verbindet beide[2]). In Tafel 2 sind die Werte für ϱ angegeben.



1 E 1 - Tenderlokomotive T 20 der Deutschen Reichsbahn.

Auf ähnlich schwankender Grundlage steht auch die Berechnung der Überhitzer. Auch hier wird der Heizfläche zuviel Bedeutung beigelegt, obgleich ihr Wert noch mehr als bei der Kesselfläche schwankt. Man bedenke, daß das letzte Ende des Überhitzers schon als Kühlfläche wirkt, denn gar zu häufig ist die Temperatur des Heißdampfes höher als die der Rauchkammer. Es kommt vielmehr darauf an, genügende Querschnitte dem Heizgasstrom des Überhitzers freizugeben; ist dies der Fall, so gibt es auch keine negativen Heizflächen mehr. Da eine wissenschaftliche Berechnung für die Praxis zu umständlich ist, so sollte eine empirische Berechnung doch auf eine im Werte weniger veränderliche Grundlage als die Heizfläche selbst gestellt werden. Zweckmäßig erscheint deshalb die Einhaltung eines bestimmten Querschnittverhältnisses der Rauchrohre F_r zu dem der Siederohre F_s, deren Summe $F_r + F_s = F_2$ ist. Dieses Verhältnis $q = \frac{F_r}{F_2}$ bewirkt annähernd die Zuführung eines genügend großen Anteils der Gesamtwärmemenge an den Überhitzer. Damit wird die gewünschte Überhitzung gesichert, denn bei zu geringer Überhitzerfläche verwandelt sich die oben erwähnte Kühlfläche in wirksame Heizfläche, weil die Heizgastemperatur höher bleibt.

Um die Querschnitte F_r und F_s zu berechnen, ist außer dem Durchmesser der Rohre d cm, ihrer Länge l cm, der Anzahl n noch ihr Querschnitt f cm², ihre Heizfläche h auf 1 cm Länge und das Verhältnis $r = f : h$ einzuführen. Die Rauchrohre erhalten den Index r und die Siederohre den Index s. Dann ist $H_i = h_s \, l \, n$ die Heizfläche der Siederohre und $H_r = h_r \, l \, n$ die Heizfläche der Rauchrohre mit Überhitzer.

Setzt man in Strahls Formel

$$\frac{\mathfrak{H}}{R} = \left[\varphi \frac{H_d}{R} + \psi \left(\frac{H_i}{R} + 0{,}81 \frac{H_{ü}}{R} \right) \right] \sqrt{\frac{3}{A}}$$

$A = 3$ und $R = 1$, und teilt $\mathfrak{H}$ in den Anteil der Feuerbüchse $\mathfrak{H}_d$ und den der Rohre $\mathfrak{H}_i$, so erhält man die indirekte Heizfläche:

$$\mathfrak{H}_i = (H_i + 0{,}81 \, H_{ü}) \, \psi.$$

Da nun die Länge der Überhitzerrohre kleiner als l, ungefähr $= 0{,}925 \, l$ ist, so kann h_r bestimmt werden als der ganze Umfang der Rauchrohre $+$ $(0{,}81 \cdot 0{,}925 =)$ $0{,}75 \times$ Umfang der Überhitzerrohre. In dem Falle kann man schreiben

$$(n_s \, h_s + n_r \, h_r) \, l \, \psi = \mathfrak{H}_i.$$

Durch Entwicklung dieser Gleichung, in deren Verlauf

$$r = \frac{(1 - q) \, r_r + q \, r_s}{r_r \, r_s}$$

[1]) Strahl, Die Anstrengung der Dampflokomotiven, 1909, Kreidels Verlag; s. a. Z. 1917 S. 257 u. f.
[2]) Z. 1919 S. 1169.

Zahlentafel 1.

Reihe		G 8²	G 12	P 10	T 20
Achsanordnung		1 D	1 E	1 D 1	1 E 1
Entwurf		Henschel	Henschel	Borsig	Borsig
Zylinder	Anzahl	2	3	3	2
	Durchmesser d . . . mm	620	570	520	700
	Kolbenhub l . . . „	660	660	660	660
Räder	Treibrad-Dmr. D . . . mm	1400	1400	1750	1400
	Laufrad-Dmr. vorn . . „	1000	1000	1000	850
	„ hinten . . „	—	—	1100	850
Kessel	Dampfdruck p . . . at	14	14	14	14
	Mittlerer Dmr. . . . mm	1800	1800	1800	1860
	Rohrlänge . . . „	4100	4800	5800	4500
	Rostfläche R . . . m²	3,47	3,90	4,00	4,36
Heizfläche (feuerberührt)	Feuerbüchse H_d . . . „	12,75	14,15	17,45	17,0
	Rohre H_i . . . „	154,30	180,77	203,2	183,0
	Verdampfende . . . „	167,05	154,96	220,7	200,0
	Überhitzer $H_ü$ . . . „	53,10	68,4	82,0	62,5
	Gesamte H . . . „	220,15	263,36	302,7	262,5
Gewichte (gerechnet)	leer G_0 . . . t	74,1	85,6	87,0	92,5
	im Dienst G_d . . . „	81,4	93,1	98,0	117,9
	Reibungs- G_r . . . „	68,0	80,0	68,0	87,5
	Wasservorrat . . . m³	—	—	—	12
	Kohlenvorrat . . . t	—	—	—	4
Abbildung		1	2	3	4

gesetzt, nach Strahl $\psi = \sqrt{\frac{0,126\,R}{F_2}}$ eingeführt und als zweckmäßiges Heizflächenverhältnis $\frac{\mathfrak{H}_i}{\mathfrak{R}} = 61,5$ angenommen wird, erhält man

$$F_2 = 3\,\mathfrak{R}\,\frac{r^2}{l^2}.$$

Diese Formel stellt für gegebene Rohrabmessungen eine unmittelbare Verbindung zwischen Rostfläche und Rohrquerschnitt dar.

Nun ist noch F_2 mittels der Verhältniszahl q in die Teile F_r und P_s zu zerlegen. Bei der Wahl von q ist zu beachten, daß um so mehr Heizgase durch die Rauchrohre ziehen, je geringeren Widerstand sie bieten, je größer also ihr Querschnitt f_r im Verhältnis zu ihrer Oberfläche h_r, mit andern Worten, je größer r_r ist. Folglich ist q um so größer zu nehmen, je kleiner r_r im Verhältnis zu r_s ist, woraus $q = q' \frac{r_s}{r_r}$ folgt. Nach der Erfahrung kann man annehmen:

$q' = 0,3$ für niedrige Überhitzung (Flachschieber),
$= 0,45$ für mittlere Überhitzung,
$= 0,6$ für sehr hohe Überhitzung (Lokomotive mit viel Stillstand).

Bemerkenswert ist, daß nach dieser Regel sowohl Klein- wie Mittel- und Großrohr-Überhitzer entworfen werden können. Jedenfalls zeigt die Nachrechnung ausgeführter Kessel gute Übereinstimmung.

Die Formel $F_2 = 3\,\mathfrak{R}\,\frac{r^2}{l^2}$ kann nun auch umgekehrt zur Beurteilung verwendet werden, ob die Rostfläche zur Ausnutzung der Heizfläche ausreicht oder künstlich vergrößert ist. Aus Zahlentafel 2 ist ersichtlich, daß die Lokomotive P 10, dem Langkessel nach, einen viel größeren Rost hätte vertragen können, oder daß die Heizfläche sehr reichlich ist, während bei G 8² und T 20 der Rost etwa 20 vH größer als nötig ist. Über den Wert dieser Maßnahme kann man im Zweifel sein; er ist wohl nur bei sehr schlackenhaltiger Kohle hochzuschätzen. Zur Erleichterung des Abschlackens erhalten alle Lokomotiven Kipproste.

Zahlentafel 2.

Reihe	G 8²	G 12	P 10	T 20
Zugkraftmodul $Z_m = \frac{d^2 s p}{D}$ kg	25 380	32 150	21 400	32 330
$Z_m : G_r$ . . .	373	402[1])	291	397[2])
Rechnungsrostfläche $\mathfrak{R} = \frac{F_2^2}{3} \cdot \frac{l^2}{r^2}$ m²	2,88	3,95	4,58 (4,0)	3,52
$\varrho = R : \mathfrak{R}$ . . .	1,18	1,0	0,88 (1,0)	1,24
Rechnungsheizfläche $\mathfrak{H}$ . . . m²	190,5	260,9	311,0	262,5
$\frac{\text{Feuerbüchsinhalt}}{\text{Rechnungsrostfläche}}$ $\frac{J}{\mathfrak{R}}$	$\frac{4,96}{2,86} = 1,72$	$\frac{5,77}{3,95} = 1,46$	$\frac{6,05}{4,0} = 1,51$	$\frac{6,51}{3,52} = 1,85$
$\frac{\text{Feuerbüchsheizfläche}}{\text{Rechnungsrostfläche}}$ $\frac{H_d}{\mathfrak{R}}$	4,5	3,6	4,3	4,8

Die Feuerbüchsen zeigen im senkrechten Querschnitt eine Form, die an die Belpairesche erinnert, jedoch tritt der Langkessel oben und seitlich wieder hervor. Die Form hat nur zur Hälfte die Vorzüge und Nachteile der Belpaireschen, nämlich Vergrößerung des Wasserspiegels und bessere Versteifung, aber bei erhöhtem Gewicht. Sie ist wesentlich schwieriger herzustellen, so daß sie künftig kaum ausgeführt werden dürfte. Bemerkenswert ist die Trapezform des Rostes der P 10-Lokomotive und die Bildung des Langkessels aus einem Schuß mit zwei Längsnähten bei der T 20-Lokomotive.

Der Inhalt der Feuerbüchse J im Verhältnis zu $\mathfrak{R}$ wird noch nicht genügend beachtet; er hat aber Bedeutung, damit die Flamme Zeit zum Ausbrennen hat und ihre explodierende Wirkung auf die Rohrbördel unterbleibt. Nach Zahlentafel 2 schwankt der Wert $J : \mathfrak{R}$ zwischen 1,46 und 1,85, während er nach amerikanischer Erfahrung mindestens 1,37 sein soll. Würde $J : \mathfrak{R}$ wesentlich kleiner ausfallen, so muß die Feuerbüchse durch eine Verbrennungskammer vergrößert werden. Dies — und nicht etwa die Laune des Konstrukteurs — bedingt ihre Ausbildung. Sie vergrößert gleichzeitig die direkte Heizfläche H_d, was durch Erniedrigung der Rohrwandtemperatur ebenfalls das Dichthalten der Siederohre begünstigt; mit dem Verhältnis $H_d : \mathfrak{R}$ ist man sehr nahe bis an die Grenze des Zweckmäßigen, das ungefähr bei 4,5 liegt, gegangen, wie Zahlentafel 2 zeigt. Die Anordnung eines Feuergewölbes und Marcottyscher Feuertür gehört zur Regelbauart.

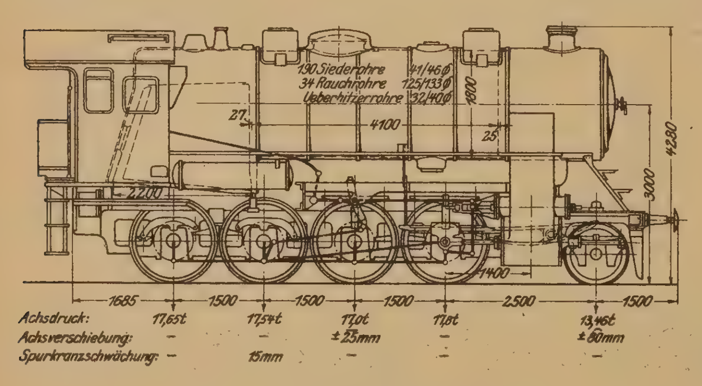


Abb. 1. 1 D-Güterzuglokomotive G 8².

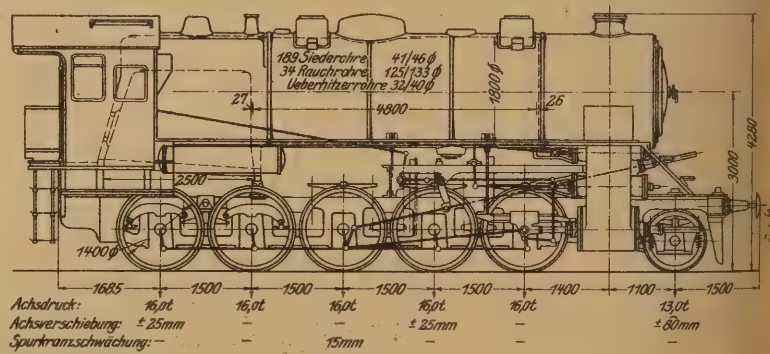


Abb. 2. 1 E-Güterzuglokomotive G 12.

Der Kessel wird in der schon seit vielen Jahren üblichen Weise mittels einer Dampfstrahlpumpe und einer Kolbenpumpe mit Abdampfvorwärmer nach Knorr gespeist. Ferner ist in einem zweiten Dom ein Schlammabscheider vorgesehen, zu dem noch Sammelkästen im Langkessel und ein Schlammsack an seinem Boden treten.

Ungewöhnlich ist bei P 10 und T 20 die große Weite des Schornsteins und die tiefe Lage des Blasrohres. Es steht fast auf dem Boden der Rauchkammer, was bei ihrer großen Länge auf den Heizgasstrom nicht ungünstig einwirkt. Veranlaßt sind diese Abmessungen durch das Streben, die theoretisch besten Schornsteinabmessungen zu verwirklichen, die eine Vergrößerung des Blasrohrdurchmessers erlauben. In der Tat ist es gelungen, bei P 10 den Blasrohrdurchmesser von 135 auf ungefähr 160 mm zu vergrößern.

[1]) 15 vH höher als üblich, wegen der gleichförmigen Zugkraft der Drillingtriebwerke.
[2]) Bei halben Vorräten; bei vollen Vorräten = 370.

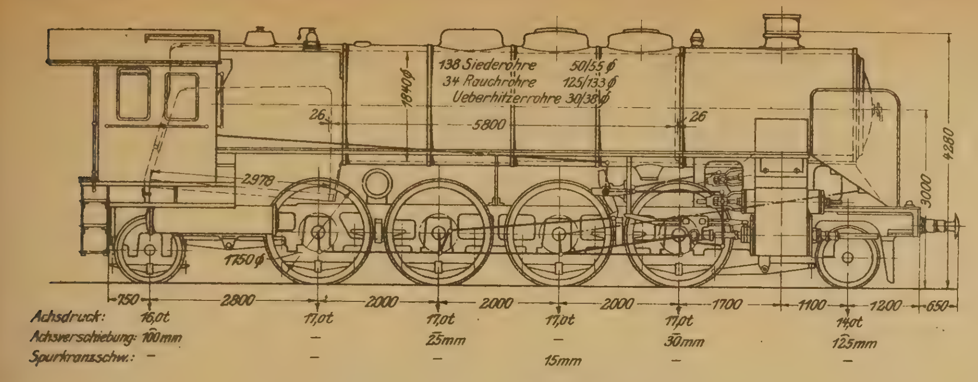
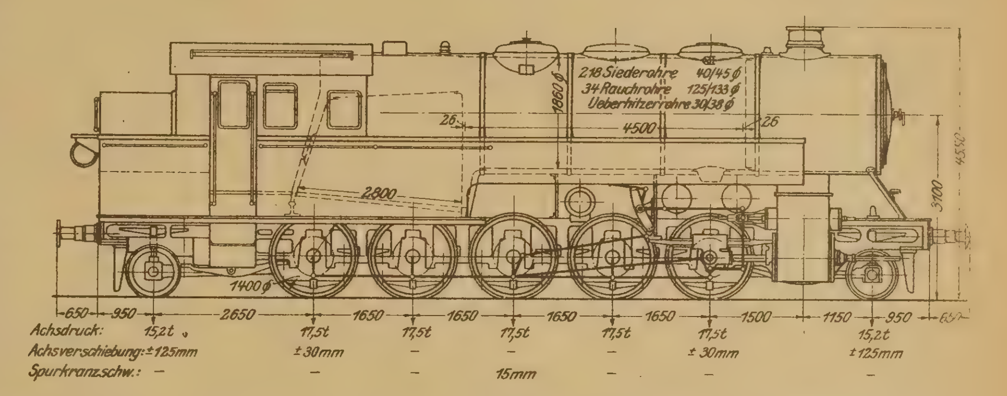


Abb. 3. 1 D 1-Personenzug-Lokomotive P 10

Die in Z. 1923 S. 290 erwähnten Lenkplatten, die durch Erzeugung eines nach oben gerichteten Luftstromes das Niederdrücken des Dampfes auf den Langkessel verhüten, haben sich bewährt.

Zur Beurteilung der Zylindergröße in bezug auf das Reibgewicht kann das Verhältnis Zugkraftmodul: Reibungsgewicht $\frac{d^2\,s\,p}{G_r\,D}$ dienen. Nach Zahlentafel 2 hat es bei der Güterlokomotive G 8² die übliche Größe. Dagegen ist es sehr klein bei P 10, selbst wenn man nur das rechnungsmäßige Reibgewicht heranzieht, und außergewöhnlich groß bei T 20. Letzteres hat seinen Grund darin, daß die Maschine auch bei einer Zugkraft von ¼ des Reibgewichtes ohne übermäßig große Füllungen arbeiten soll. Ähnliche Verhältnisse liegen bei der 1 E 1-Tenderlokomotive der Halberstadt-Blankenburger Eisenbahn vor, die mit Erfolg Zahnradlokomotiven verdrängt hat. Das gleiche Ziel wird mit T 20 auf den zahlreichen Zahnradstrecken der Reichsbahn angestrebt. Die Zylinderabmessungen in bezug auf den Kessel finden ihren Ausdruck in der günstigsten Geschwindigkeit der Lokomotiven. Diese liegt bei den Güterlokomotiven in den üblichen Grenzen, während sie bei T 20, ihren großen Zylindern entsprechend, etwas geringer ist, bei P 10 jedoch dank ihren kleinen Zylindern verhältnismäßig hoch liegt. Bei der jetzt beliebten Verwendung dieser Gebirgslokomotive im Flachland passen die kleinen Zylinder aber ganz gut.

Triebwerk und Steuerung von G 8² und T 20 zeigen nichts Besonderes, jedoch hat man bei P 10 für jeden Zylinder eine eigene Steuerung gewählt, im Gegensatz zu G 12, wo die Bewegung des mittleren Schiebers aus denen der äußeren Schieber zusammengesetzt ist. Solche Verbundsteuerungen ergeben sehr großen toten Gang des Mittelschiebers, und zwar berechnet er sich ungefähr zu 16 Einheiten im Gegensatz zu ungefähr sieben einer gewöhnlichen Heusinger-Steuerung. Unter Einheit ist hier der tote Gang in jedem einzelnen Gelenk zu verstehen. Die Folge dieses toten Ganges ist eine ganz empfindliche Störung der regelmäßigen Dampfverteilung, die sehr ungünstig den Dampfverbrauch beeinflußt. Der bei P 10 gewählte Ausweg ist jedoch wegen seiner großen Vielteiligkeit auch nicht als rationell zu betrachten. Deshalb sei auf die in Z. 1919 S. 409 dargestellte Drillingsteuerung hingewiesen, die keiner Gegenkurbel bedarf und nicht mehr toten Gang als die einfache Heusinger-Steuerung hat.



Der Barrenrahmen wird jetzt ausschließlich verwendet. Er ermöglicht dank seiner allseitigen Bearbeitung die restlose Durchführung des Austauschbaues, und ferner sind die Betriebsergebnisse ausgezeichnet. Rahmenbrüche, die bei Platten- und amerikanischen Barrenrahmen nicht selten sind, kommen nach langjähriger Erfahrung nicht vor. Es lohnt, den Gründen des verschiedenen Verhaltens nachzugehen.

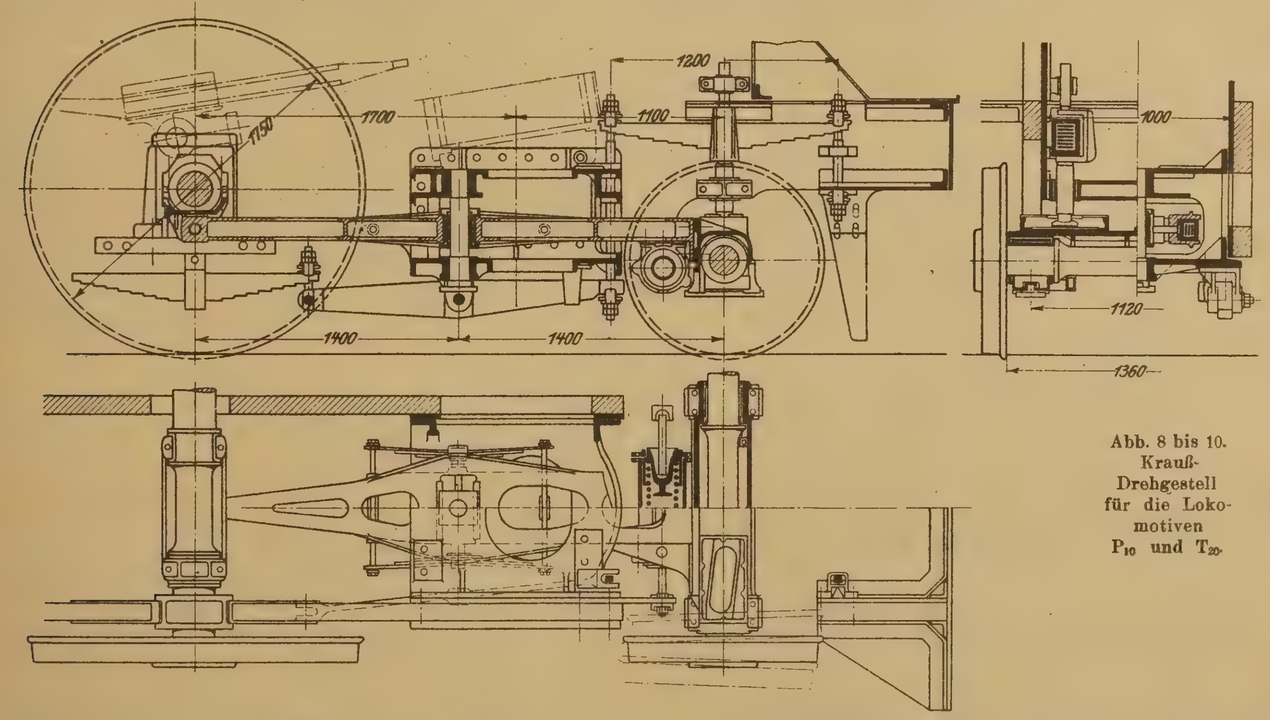


Abb. 8 bis 10. Krauß-Drehgestell für die Lokomotiven P_{10} und T_{20}.

Der amerikanische Barrenrahmen wurde früher geschmiedet, dann gegossen. Bei uns wird er aus einer dicken Platte herausgearbeitet, und so entfallen die gefährlichen Schweiß- und Lunkerstellen. Die Beanspruchung ist statisch nicht bestimmbar, weil der Anteil der Achsgabelstege an der Verteilung der Kolbenkraft unbekannt ist. Eine Berechnung ist jedoch unter der Annahme möglich, daß nur der Steg und der im Ausschnitt liegende Rahmenteil an der Formänderung teilnimmt, Abb. 5 bis 7. Bezeichnet man mit P_r die in der Zylinderebene wirkende auf Mitte Rahmen bezogene Zylinderkraft, so können wir sie in zwei Teile P_0 und P_u zerlegen, von denen P_0 im Rahmen eine Zugspannung und ein Biege-

moment hervorruft, das ein Klaffen des Rahmenausschnittes von einer bestimmten Größe bewirkt. Die Kraft P_u streckt den Achsgabelsteg und biegt außerdem seine Klammern um ein gewisses Maß auf. Die beiden Formänderungen müssen einander gleich sein. Berechnet man hiernach das Verhältnis $P_o : P_u$ für einen Platten- und einen Barrenrahmen, so erhält man gänzlich andre Werte; z. B. ist dieses Verhältnis für die G 10 und Plattenrahmen gleich 2,45, während für einen Barrenrahmen Werte von ungefähr 1,0 herauskommen. Dies beweist die sehr geringe Beanspruchung des Barrenrahmens über dem Ausschnitt, ferner ergibt sich bei Annahme unsorgfältig eingepaßter Achsgabelstege ein sehr großer Einfluß auf $P_o : P_u$ beim Plattenrahmen, jedoch ein verschwindend geringer beim Barrenrahmen. Dehnt sich nämlich bei diesem der Steg oder ist er lose eingepaßt, so wird er dadurch kaum entlastet, weil der Rahmen infolge seines kleinen Widerstandsmomentes nachgibt und seine Spannung nicht wesentlich ändert. Deshalb ist es auch nicht nötig, zur Verkleinerung des Biegemomentes den Ausschnitt über dem Achslager recht niedrig zu machen. Im Gegenteil soll er recht groß ausgerundet werden, was dazu die Zugänglichkeit der Achslager erhöht. Auch in dieser Beziehung ist die deutsche Form des Barrenrahmens der amerikanischen überlegen.

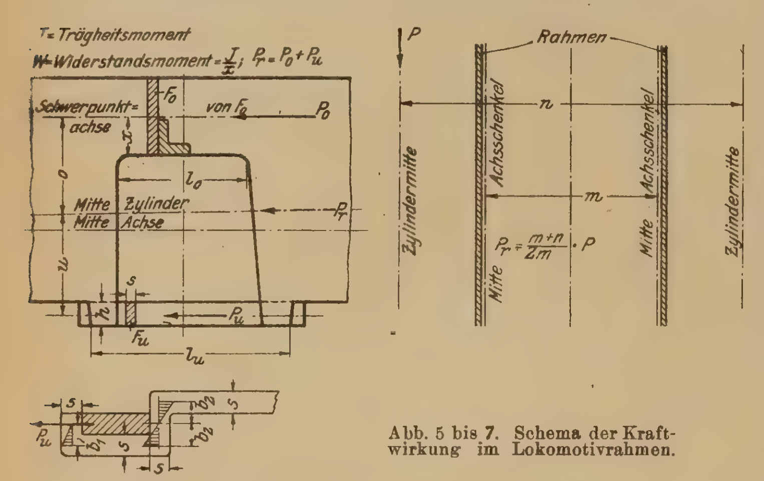


Abb. 5 bis 7. Schema der Kraftwirkung im Lokomotivrahmen.

Momentengleichung in Bezug auf den Schwerpunkt des Rahmenquerschnitts: $P_r o = P_u (o + u) + M$, wobei M von der Formänderung des Rahmens herrührt. $P_r = P_o + P_u$, woraus $P_u = \frac{P_r}{1 + \frac{P_o}{P_u}}$. Wirkung von P_o: Dehnung des Rahmens um das Maß $\Delta_o = \frac{P_o}{F_o} \cdot \frac{l_o}{E}$. Wirkung von M: Aufklaffen des Rahmens, am Steg gemessen, um das Maß $f_o = \frac{M\, l_o (o + u)}{E J}$. Wirkung von P_u: Dehnung des Stegs um $\Delta_u = \frac{P_u}{F_u} \cdot \frac{l_u}{E}$ und Aufbiegen der Stegklammern um das Maß $f_u = \frac{P_u}{E J} \cdot \frac{\Sigma b^3}{3}$. Σb^3 besteht in der Summe aller $b_1^3 + b_2^3 + b_3^3 + \cdots$ je nach der Bauart des Stegs. Man erhält $\Delta_u + f_u = \frac{P_u}{E F_u} \left[l_u + \frac{4 \Sigma b^3}{s^2} \right]$ und schreibt zur Vereinfachung dafür $\Delta_u + f_u = \frac{P_u}{E F_u} k\, l_u$; k berücksichtigt die infolge des Aufbiegens der Klammern größere Dehnung des Stegs. Die Summe der Formänderungen muß gleich null sein; also: $f_o + \Delta_o - (f_u + \Delta_u) = 0$. Nach Einführung von $a = \frac{J}{o (o + u)\, l_o}$ und verschiedenen Umformungen wird

$$\frac{P_o}{P_u} = \frac{\frac{o + u}{o} + a \frac{k\, l_u}{F_u} - 1}{1 + a \frac{l_o}{F_o}}.$$

Bei Barrenrahmen wird J und a so klein, daß $\frac{P_o}{P_u} = \sim \frac{o + u}{o}$ wird; d. h. die Kraft P_r verteilt sich so, als ob der Rahmen gelenkig wäre. Der Einfluß von $k\, l_u$ verschwindet daher. Die Beanspruchungen betragen im Rahmen: $\sigma_o = \frac{P_o\, o - P_u\, u}{W} + \frac{P_o}{F_o}$ und im Steg $\sigma_u = \frac{P_u}{F_u}$ (die Biegespannungen sind rechnerisch kaum zu erfassen). Übliche Werte sind: bei Plattenrahmen $\sigma_o = \sigma_u = \sim 600$ kg/cm²; bei Barrenrahmen $\sigma_o = \sim 200$ kg/cm² (mit Rücksicht auf wagerechte Biegemomente); σ_u in Amerika $= \sim 400$, dagegen bei der T 20 ungefähr 1800 kg/cm²!

Hingegen wird dem Plattenrahmen ein recht großes Widerstandsmoment bei kleinem Biegungswert gegeben. Die Dehnung des Stegs beträgt ungefähr nur 0,2 mm; tritt nun hierzu eine weitere Dehnung um 0,1 mm durch loses Einpassen, so steigert sich der Wert $P_o : P_u$ ganz bedeutend. Bei den meistens schon recht hohen Beanspruchungen kann das leicht verderbliche Folgen haben. Die wahren Beanspruchungen in den Ecken des Ausschnittes sind ja noch viel größer; sie sollten mit mindestens $^1/_{15}\, h$ ausgerundet sein. Berechnen lassen sich diese zusätzlichen Spannungen nicht, aber man kann wohl ruhig behaupten, daß auch ein gut gebauter Plattenrahmen bis dicht an die Streckgrenze beansprucht ist.

Die Güterlokomotiven sind für Geschwindigkeiten von 65 km/h entworfen mit Rücksicht auf die Einführung durchgehender Bremsen und die damit verbundene erhöhte Fahrgeschwindigkeit der Güterzüge. Sie mußten also Laufachsen erhalten, die in Bisselgestelle gelegt sind. Für die große Geschwindigkeit der P 10 war dies natürlich unzulässig, die vordere Laufachse mußte mit der ersten Kuppelachse in ein Krauß-Drehgestell gelegt werden. Dieses Gestell verlangt einen weit nach vorn geschobenen Drehzapfen, um der Laufachse einen geringen Anlaufwinkel und entsprechend großen Seitendruck zu geben. Bei langen Lokomotiven wird dadurch aber der Ausschlag der Kuppelachse zu groß, so daß das Drehzapfenlager weit nach hinten und seitlich verschiebbar gelegt werden muß. Dadurch würde aber der Vorteil des Krauß-Drehgestelles, die Laufachse in ruhiger Lage zu halten, verschwinden. Deshalb hat Borsig dem Drehgestellrahmen auch vorn noch Rückstellfedern gegeben, Abb. 8 bis 10. Der Lauf der Lokomotive mit diesem Drehgestell ist sehr ruhig. Auch die T 20 erhielt zwei solche Gestelle.

Der Bremsdruck ist bei P 10 außergewöhnlich hoch, nämlich 170 vH bei Verwendung der Kunze-Knorr-Bremse. Diese gewaltigen Bremsdrücke verlangen ungeheuer schwere Bremswellen und Gestänge, ohne daß dadurch eine wesentliche Abkürzung des Bremsweges herbeigeführt würde. Hier liegt ein völliger Umschwung der Anschauung vor: früher bremste man die Lokomotive wenig, weil sie bei großer Geschwindigkeit schon durch den Luftwiderstand stark zurückgehalten wird, und man ein Auflaufen des Zuges vermeiden wollte. Es steht zu hoffen, daß diese außergewöhnlichen Bremsgestänge bald verschwinden, denn sie vergrößern in unerwünschter Weise den Radstand, weil die großen Bremsklötze wagerecht wirken müssen, was im Verein mit den kräftigen Bremshebeln 300 mm Raum zwischen den Radreifen erfordern.

Eine nähere Beschreibung von G 8², G 12 und P 10 findet sich in der Literatur[1]), so daß darauf verwiesen sei. Es äußert sich in diesen neuen Typen ein Geist, der auch für alte Aufgaben neue Wege sucht und zu finden weiß. Die Erfahrungen mit diesen Typen werden den künftigen Bauarten der Reichsbahn durch größere Sicherheit in der Wahl der Hauptverhältnisse sehr zu statten kommen. [A 2036]

[1]) Die 1 D 1 - Dreizylinder-Personenzuglokomotive Gattung P 10 in Glasers Annalen 1922. Die 1 E - Dreizylinder - Einheits - Güterzuglokomotive der preuß. Staatsbahn, G 12, Hanomag-Nachrichten 1919 Heft 9. Die 1 D - Güterzuglokomotive der Reichsbahn, Hanomag-Nachrichten Oktober 1922. T 20 in Hanomag-Nachrichten Januar 1924.

Ein senkrechter Drehofen zur Verschwelung von Kohle.

Nach einem Bericht von Dr.-Ing. A. Sander[1]) hat sich ein neuer Drehofen nach Méguin und Müller zur Verschwelung von Kohle in mehrmonatigem Betrieb in einer Versuchsanlage auf dem Werke der Méguin-A.-G. in Butzbach gut bewährt. Bei diesem ziemlich rasch laufenden Drehofen mit senkrechter Bahn (der Ofen von Thyssen & Co. hat wagerechte, der von Fellner & Ziegler geneigte Achse) wird die Wirkung der Fliehkraft ausgenutzt, um die Kohlen möglichst schonend zu behandeln und Teer mit sehr geringem Staubgehalt sowie Halbkoks von größerer Festigkeit zu erhalten.

Der Ofen besteht aus zwei konzentrischen Eisenzylindern. Auf den inneren, der eine Förderschraube enthält, werden die Kohlen von oben aufgegeben. Die Fliehkraft verteilt die Kohlen bei dem verhältnismäßig schnellen Umlauf des Ofens während des Entgasens auf die Wand des Ofens und bewirkt, sobald die Erweichung beginnt, je nach den backenden Eigenschaften der verwendeten Kohlen, eine mehr oder minder starke Verdichtung des entstehenden Halbkoks. Nach zwei Stunden fallen die völlig verschwelten Kohlen, durch die Schraube zum unteren Ofenende befördert, als etwa 350 °C heißer Halbkoks aus dem Ofen und brauchen nicht abgelöscht zu werden. Der innere Zylinder hat Öffnungen, durch die die bei der Verschwelung entstehenden Gase und Dämpfe abgesaugt und am oberen Ofenende abgeleitet werden. Sie bleiben daher vor der Zersetzung durch die hocherhitzte Außenwand bewahrt, haben nur 1 bis 2 vH Staubgehalt und sind reich an niedrig siedenden Kohlenwasserstoffen, obschon dieser Ofen — abweichend von anderen Bauweisen — keine besondere Staubabscheidevorrichtung hat. In der Vorlage bilden sich nur äußerst geringe Mengen von Dickteer.

Die Anlage arbeitet ohne Unterbrechung und vermag in 24 Stunden 5 t Kohle durchzusetzen. Zur Heizung des Ofens dient eine vorgebaute Halbgasfeuerung. Diese erhitzt den äußeren Zylinder in seinem ganzen Umfang auf 600 °C. Beide Zylinder werden durch Zahnradgetriebe gedreht. Zum Antrieb dient ein Elektromotor von 4 PS. Nur das Aufgeben der Kohlen und die Feuerung bedarf der Überwachung. Zur Bedienung selbst einer bedeutend größeren Anlage genügen zwei Mann. [M 184] Dr. Nd.

[1]) Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker vom 27. bis 29. Sept 1923 in Jena; vergl. auch „Stahl und Eisen" Bd. 43 (1923) S. 1569.

Die neuen Verbund-Pumpmaschinen des Hamburger Wasserwerks.

Von Rud. Schröder, Direktor a. D. der Wasserwerke, Hamburg.

Es wird über das Ergebnis eines öffentlichen Ausschreibens der Lieferung von Kolben- und Turbopumpmaschinen berichtet, die Bauart der ausgeführten Kolbenpumpmaschinen und der zugehörigen Kesselanlagen beschrieben und das Ergebnis von Versuchen mit den verwendeten Pumpventilen sowie zur Feststellung des Dampfverbrauchs der Maschinen mitgeteilt.

Am Schlusse des in Z. Bd. 51 (1907) S. 1227 u. f. veröffentlichten Aufsatzes über neuere Pumpmaschinen des Hamburger Wasserwerks war die Vermutung ausgesprochen, daß nach Inbetriebnahme der damals in Ausführung begriffenen drei neuen Dreifach-Expansions-Pumpmaschinen IX bis XI — Z. Bd. 54 (1910) S. 869 u. f. — eine Erweiterung der Maschinenanlagen des Hauptpumpwerks Rothenburgsort innerhalb der nächsten zehn Jahre kaum in Frage kommen würde.

Die starke Zunahme der versorgten Bevölkerung im Zeitraum 1908 bis 1913 von 864 000 auf 1 004 000 Köpfe und des Jahresverbrauchs von rd. 46 693 000 auf rd. 50 746 000 m³ machte es indes notwendig, bereits Mitte Juli 1914 die Lieferung von zwei neuen Pumpmaschinen für eine größte stündliche Fördermenge von je 1800 m³ und eine für gewöhnlich 65 m betragende, aber auf 72 m steigerbare manometrische Förderhöhe auszuschreiben.

Angebote hierauf wurden eingefordert, und zwar

1) auf zwei stehende Verbund-Kolbenpumpmaschinen mit Ventilsteuerung, Einspritzkondensation, Schwungrad, gekröpften, um 180° gegeneinander versetzten Kurbeln, doppeltwirkenden Hauptpumpen, den zugehörigen Saugrohren und Druckleitungen und zwei Haupt-Druckwindkesseln;
2) auf eine solche Kolbenpumpmaschine, im übrigen wie vor, und
3) auf eine Turbopumpmaschine mit Oberflächenkondensation, Saugrohr und Druckleitung der Hauptpumpe bis zum Anschluß an die Leitung der Kolbenpumpmaschine, unter Einschaltung einer mehrteiligen Rückschlagklappe und eines Siemens-Teilwassermessers mit selbstaufzeichnendem Leistungsanzeiger.

Die Lieferung einer Turbopumpmaschine war in das Ausschreiben mit einbezogen, um bei günstigem Ausfall des Angebots für zukünftige Fälle auch mit dieser neuen Bauart Erfahrungen sammeln zu können. Aus diesem Grunde war dem Wettbewerb bezüglich ihrer baulichen Ausgestaltung weitester Spielraum gelassen, während die Lieferung der Kolbenpumpmaschine nach bis ins einzelne gehenden Vorschriften und beigegebenen Zeichnungen aller wichtigeren Einzelheiten zu erfolgen hatte.

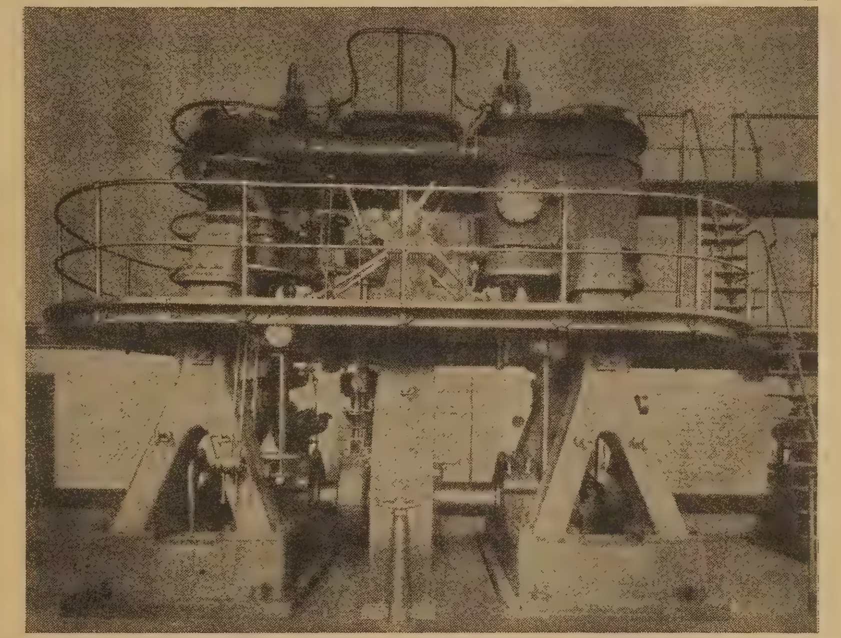


Abb. 1. Maschine VII, Ansicht der Steuerung und der Regeleinrichtungen.

Für die Lieferung und betriebsfähige Aufstellung der gesamten Maschinenanlage war eine Frist von 60 Wochen nach Zuschlagerteilung vorgesehen.

Die Bewerber hatten bei den Abnahmeprüfungen den Nachweis zu führen, daß die von ihnen gelieferten Maschinen bei einer stündlichen Fördermenge von 1500 m³ und 65 m Förderhöhe nicht mehr Dampf für die in gehobenem Wasser berechnete Pumpenpferdestärke und Stunde verbrauchten, als sie in ihrem Angebot unter Zugrundelegung eines Dampfüberdruckes von 11,5 at und einer Dampftemperatur von 350 °C am Hauptabsperrventil der Maschine gewährleistet hatten. Für die Kolbenpumpmaschinen sollte hierbei ein Pumpenliefergrad von 97 vH angenommen werden und für die Turbopumpmaschine die Leistungsanzeige des Teilwassermessers maßgebend sein.

Bei Überschreitung des gewährleisteten Dampfverbrauchs war eine Vertragstrafe von 3000 ℳ für jedes zwanzigstel kg Mehrverbrauch festgesetzt.

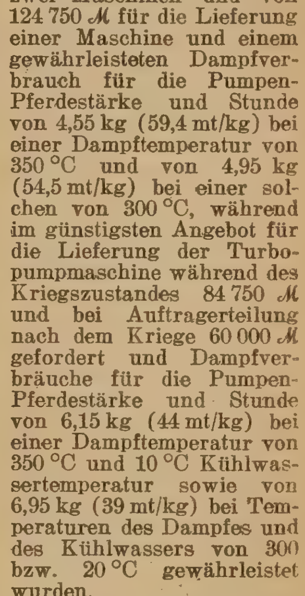
Diese Vertragstrafe war unter der Annahme errechnet, daß jede Maschine während einer 20jährigen Betriebsdauer jährlich etwa 6000 Stunden unter den gleichen Verhältnissen wie bei den Abnahmeprüfungen in Betrieb sein und daß je $^1/_{20}$ kg Dampfmehrverbrauch für die Pumpenpferdestärke und Stunde bei einem Dampfpreise von 2 ℳ/t eine jährliche Mehrausgabe für Kohlen von etwa 220 ℳ erfordern würde, die, als eine jährlich zu zahlende Rente aufgefaßt, bei einem Zinsfuße von 4 vH einem Anfangskapitalwerte

$$K = \frac{R\,(p^{20}-1)}{p^{20}\,(p-1)} = \frac{220\,(1{,}04^{20}-1)}{1{,}04^{20}\,(1{,}04-1)} = 220 \cdot 13{,}5$$

= rd. 3000 ℳ entspricht.

Mit dem gleichen Betrage sollte anderseits je $^1/_{20}$ kg, um das der von einem Bewerber gewährleistete Dampfverbrauch niedriger war als der von den Mitbewerbern angegebene, beim Vergleiche der Anerbieten zu seinen Gunsten bewertet werden.

Auf dieses Ausschreiben waren von sechs Bewerbern Angebote auf Kolbenpumpmaschinen und von drei Bewerbern auf Turbopumpmaschinen eingegangen.



Von den Angeboten auf Kolbenpumpmaschinen war das der Ascherslebener Maschinenbau-Aktiengesellschaft (vormals W. Schmidt & Co.), Aschersleben (jetzt: Ascherslebener Maschinenfabrik, Aschersleben, Zweigwerk der R. Wolf A.-G., Magdeburg-Buckau), das wirtschaftlich günstigste mit einer Preisforderung von 226 710 Mark für die Lieferung von zwei Maschinen und von 124 750 ℳ für die Lieferung einer Maschine und einem gewährleisteten Dampfverbrauch für die Pumpen-Pferdestärke und Stunde von 4,55 kg (59,4 mt/kg) bei einer Dampftemperatur von 350 °C und von 4,95 kg (54,5 mt/kg) bei einer solchen von 300 °C, während im günstigsten Angebot für die Lieferung der Turbopumpmaschine während des Kriegszustandes 84 750 ℳ und bei Auftragerteilung nach dem Kriege 60 000 ℳ gefordert und Dampfverbräuche für die Pumpen-Pferdestärke und Stunde von 6,15 kg (44 mt/kg) bei einer Dampftemperatur von 350 °C und 10 °C Kühlwassertemperatur sowie von 6,95 kg (39 mt/kg) bei Temperaturen des Dampfes und des Kühlwassers von 300 bzw. 20 °C gewährleistet wurden.

Der Vergleichspreis berechnete sich hiernach für die Turbopumpe zu [84 750 + (6,15 — 4,55) 20 · 3000] ℳ = 180 750 ℳ und die Gesamtausgabe für diese Maschine und eine Kolbenpumpmaschine zu (180 750 + 124 750) ℳ = 305 500 ℳ ohne Berücksichtigung der Mehrkosten von etwa 12 000 ℳ für die durch den höheren Dampfverbrauch der Turbopumpe bedingte Vergrößerung der Kesselanlage.

Bei dieser Sachlage wurde dem bei Lieferung von Kolbenpumpmaschinen dem Vergleichspreise nach sich um rd. 78 800 ℳ billiger stellenden Angebot des Aschersleben Werkes, das bereits 1905 die beiden Pumpmaschinen V und VI für das Hauptpumpwerk Rothenburgsort geliefert hatte, der Zuschlag erteilt.

Wenn das im folgenden kurz AMA genannte Werk auch anfänglich bestrebt war, die vertraglichen Lieferfristen einzuhalten, und bereits im Frühjahr 1915 trotz des Krieges fast alle größeren Guß- und Schmiedestücke hergestellt hatte, so mußten im späteren Verlaufe des Krieges die Arbeiten infolge Umstellung fast des gesamten Werkbetriebes für Kriegslieferungen und der Unmöglichkeit, die nötigen Baustoffe für die Maschinen von der Heeresverwaltung frei zu bekommen, fast ganz eingestellt werden. Die nach der politischen Umwälzung eingetretenen Schwierigkeiten bewirkten eine weitere Verzögerung, so daß erst Anfang 1921 mit der Anlieferung der Maschinen begonnen und ihre Inbetriebsetzung im Frühjahr 1922 vorgenommen werden konnte.

Der schon während des Krieges und nachher in erhöhtem Maß eingetretenen Steigerung der Werkstoffpreise, Löhne und Frachtsätze wurde durch eine Erhöhung des Lieferpreises auf rd. 1 250 000 ℳ Rechnung getragen.

Die verspätete Anlieferung konnte vom Wasserwerk ertragen werden, weil der städtische Verbrauch während des Krieges stark zurückgegangen war und nach vorübergehendem Anwachsen in den Jahren 1918 und 1919 auch im Jahre 1921 mit 50 417 820 m³ noch unter dem des Jahres 1914 blieb.

Die beiden neuen Maschinen VII und XII sind in dem i. L. rd. 20 m langen und 9 m breiten Maschinengebäude der nördlichen Anlage — Z. Bd. 46 (1902) S. 829 — aufgestellt, in dem bis Ende 1914 die 1885 von der Gutehoffnungshütte, Sterkrade, gelieferte alte Maschine VII — Z. 1902 S. 872 u. 1907 S. 1227 — stand, die als Vertreterin einer dahingegangenen Zeit mit ihren gewaltigen, langsam auf- und abgehenden Massen — der Kolbenhub ihrer Differentialpumpe und des i. L. 1,5 m weiten Niederdruckzylinders betrug 3,0 m, die Schwingbalkenlänge 13 m und das Gewicht des Schwungrades bei 3,5 m Dmr. 45,4 t — im Betrieb einen überwältigenden Eindruck machte. Während ihrer nahezu 29¼jährigen Betriebszeit förderte diese Maschine rd. 266,2 Millionen m³ ins städtische Leitungsnetz.

Die Bauart der neuen Maschinen, Abb. 1 bis 5, ähnelt im großen und ganzen der der Maschinen IX bis XI (s. Z. Bd. 54 [1910] S. 870), wenn man sich bei diesen die Mitteldruckmaschine und die zugehörige Pumpe fortdenkt. In verschiedenen Einzelheiten weicht sie indes erheblich von diesen ab.

Da der Maschinenraumflur, um in Übereinstimmung mit dem der im angrenzenden Gebäude befindlichen Maschinen I und II — Z. 1902 S. 874 — zu bleiben, eine Höhenlage von + 9,97 m (Hamburger Pegel) und der Pumpenraumflur eine solche von + 4,77 m erhalten mußte, ergab es sich bei dem Höhenunterschiede von 5,2 m von selbst, die Schubstangen unterhalb des Maschinenraumflures, also rückkehrend anzuordnen, was den Vorteil einer erheblich geringeren Höhenentwicklung des dampfseitigen Teils der Maschinen brachte.

Die Gesamthöhe der neuen Maschinen beträgt vom Pumpenraumflur bis Oberkante Dampfzylinder rd. 9,5 m, wovon 4,3 m auf den über dem Maschinenraumflur befindlichen Teil entfallen, während die bezüglichen Abmessungen der Maschinen IX und XI sich auf rd. 10,8 m bzw. 6,0 m stellen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß jene einen um 25 vH geringeren Kolbenhub und eine bei gleicher Förderleistung um 50 vH größere Umlaufzahl als diese haben.

Die beiden Maschinen sind bis auf die Anordnung der Druckleitungen ihrer doppeltwirkenden Hauptpumpen sowie der Zu- und Abflußleitungen des Einspritzwassers der Kondensatoren gleich ausgeführt.

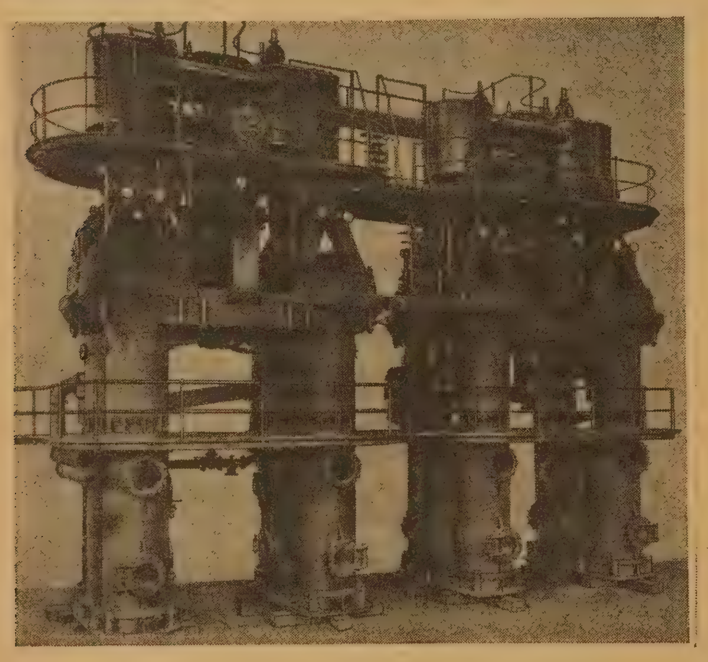


Abb. 3. Maschinen VII und XII. Aufbau in der Werkstatt.

Die beiden Grundplatten einer jeden Maschine sind auf den durch ein gußeisernes, zugleich als Schwungradgrube ausgebildetes Zwischenstück miteinander verbundenen Lufthauben ihrer im Pumpenraumflur aufgestellten doppeltwirkenden und mit Tauchkolben versehenen Hauptpumpen verschraubt.

Auf der linken Grundplatte sind die kurzen ⅄förmigen Doppelständer des Hochdruckzylinders, auf der rechten die des Niederdruckzylinders durch Flanschverschraubung befestigt.

Ihre Kopfenden sind wiederum durch eine kastenförmige Querverbindung gegeneinander abgesteift, die die Lagerböcke der zwischen den Zylindern angeordneten und von der stehenden Reglerwelle mit Hilfe von Schraubenrädern angetriebenen Steuerwelle trägt.

Die Gleitbahnen der Kreuzköpfe mit den unteren Lagern der rückkehrenden Schubstangen sind an den vorderen Lufthauben der Hauptpumpen angebracht, Abb. 3 bis 7 und 9. Jeder dieser Kreuzköpfe ist durch zwei Umführstangen mit einem die Kräfteübertragung vermittelnden Querhaupt am unteren Ende der zugehörigen Dampfkolbenstange verbunden. Die Querhäupter erhalten ihre Geradführung an den vorderen Zylinderständern, und von ihnen dient das der Hochdruckkolbenstange gleichzeitig

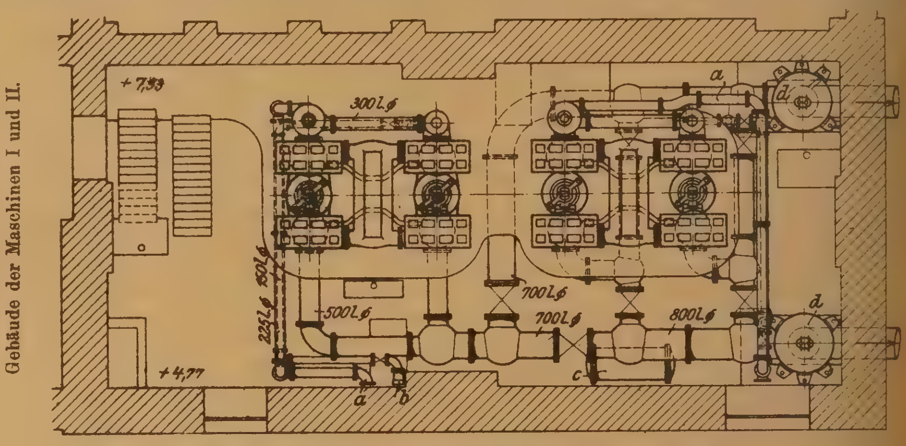


Abb. 2. Grundrißanordnung der Maschinen VII und XII.
a Luftpumpen-Abflußleitung *b* Luftpumpen-Einspritzleitung *c* Luftschleuse *d* Hauptdruckwindkessel 1 : 200.

zum Antrieb des Schwinghebels des Kolbens der an der hinteren Lufthaube auf dieser Maschinenseite angebrachten Luftpumpe. Der Kondensator ist an der hinteren Lufthaube auf der Niederdruckseite verschraubt.

Die Pumpmaschinen haben folgende Hauptabmessungen:

Dmr. der Hochdruckzylinder	490 mm
„ „ Niederdruckzylinder	940 „
„ „ Pumpentauchkolben	390 „
gemeinsamer Hub	750 „
Dmr. der Luftpumpen	580 „
Luftpumpenhub	340 „
desgl. wirksamer Hub	260 „

Der Abstand der Zylindermitten beträgt 3400 mm. Er wurde gewählt, um vorhandene Grundmauerwerkkörper wieder benutzen und dabei den Pumpbrunnen der Maschinen von den verschiedensten Seiten das Wasser zuführen zu können; andernfalls hätte er ohne Beeinträchtigung der Zugänglichkeit der Triebwerkteile um mindestens 0,30 m geringer werden können.

Die Maschinen erhalten ihren Betriebsdampf aus einer im angrenzenden Kesselhaus aufgestellten Kesselanlage mit 11,5 bis 12 at Überdruck und einer Temperatur von 300 bis 350 °C beim Eintritt in die Hochdruckzylinder.

Unter Annahme eines Liefergrades der Hauptpumpen von 97 vH beträgt die regelmäßige Stundenfördermenge 1500 m³ bei 75 und die größte Stundenfördermenge 1800 m³ bei 90 Uml./min.

Die mit eingeschrumpften Arbeitsbüchsen versehenen Dampfzylinder sind in einem Stück mit ihren Ventilgehäusen gegossen, deren Dampfkanäle bei den Hochdruckzylindern durch zwei schmiedeiserne Federrohre von 113 bzw. 137 mm l. W. verbunden sind. Die oberen und unteren Deckel der Hochdruckzylinder werden nur während des Stillstandes, die Deckel, Mäntel und Böden der Niederdruckzylinder vor allem während des Betriebes mit gedrosseltem Heißdampf geheizt. Die unteren Deckel und Böden entwässern durch getrennte Niederschlagwasserableiter in eine gemeinsame im Speisewasserbehälter im Kesselhaus endigende Leitung.

Der obere Auslaßraum des Hochdruckzylinders ist mit der Aufnehmerkammer des Niederdruckzylinders durch ein flußeisernes Rohr von 203 mm l. W. verbunden, das mit Rotgußspitze in einer Stopfbüchse der Aufnehmerkammer gedichtet ist.

Die gußeiserne 325 mm weite, mit Stopfbüchse versehene Auspuffleitung des Niederdruckzylinders ist an den im oberen Teile als Speisewasservorwärmer ausgebildeten Kondensator angeschlossen.

Die Entwässerung der Dampfzylinder erfolgt für jeden von ihnen getrennt unter Einschaltung von Rückschlagventilen, um das Rückblasen des Wassers von einer Zylinderseite in die andere zu verhüten. Für die Betätigung der Handhebel der Entwässerungsbahnzüge ist am rechten Fuße des vorderen Hochdruckzylinderständers ein metallener Kasten neben dem Handrade des Hauptabsperrventils der Maschine angebracht.

Der Hoch- und der Niederdruckzylinder sowie ihr Verbindungsrohr sind mit Sicherheitsventilen versehen und mit Diatomit-

steinen auf Asbest-Kieselgurunterlage bis an die Stahlblechummantelung verkleidet.

Das aus Stahlguß hergestellte, am unteren Ventilgehäuse des Hochdruckzylinders angebrachte Hauptabsperrventil hat 100 mm Durchgangweite und kann sowohl von der unteren Bedienungsbühne als vom Maschinistenstand aus betätigt werden. Zwischen diesem Ventil und der an einen Wasserabscheider in der Sammelleitung im Kesselhaus angeschlossenen 110 mm weiten Hauptdampfleitung ist ein Stahlgußkrümmer mit eingebauter Drosselklappe eingeschaltet.

Die Zylinder sind mit Ventilsteuerung, Abb. 1 — Bauart König — Z. 1907 S. 990 und Z. 1910 S. 872 —, versehen, bei der die Einlaßventile des Hochdruckzylinders durch die Exzenter ihrer Auslaßventile mit Hilfe einer neben der Steuerwelle angeordneten Zwischenschwinge betätigt werden, die vom Regler bzw. einer später beschriebenen Vorrichtung von Hand verstellt wird. Die Sitze der Einlaßventile der Hochdruckzylinder sind so gebaut, daß sie sich mit den Ventilen gleichmäßig ausdehnen. Die aus Tiegelgußstahl hergestellten Ventilstangen haben alle Labyrinthdichtung in langen gußeisernen Grundbüchsen. Die langen Ventilstangen der unteren Einlaß- und oberen Auslaßventile bestehen aus zwei durch Spannschlösser mit Rechts- und Linksgewinde verbundenen Teilen, s. Z. 1907 S. 990 und Z. 1910 S. 872. Die Einlaßventile beider Zylinder werden durch Wälzhebel, die Auslaßventile durch Schwingdaumen gesteuert, deren gußeiserne Antriebexzenter durch gezahnte Federn mit nachziehbaren Keilen auf der Steuerwelle versetzbar sind, während die schmiedeisernen Exzenterstangen in der Länge verstellt werden können. Die Laufflächen aller schwingenden Steuerteile sowie deren Zapfen und Büchsen sind gehärtet.

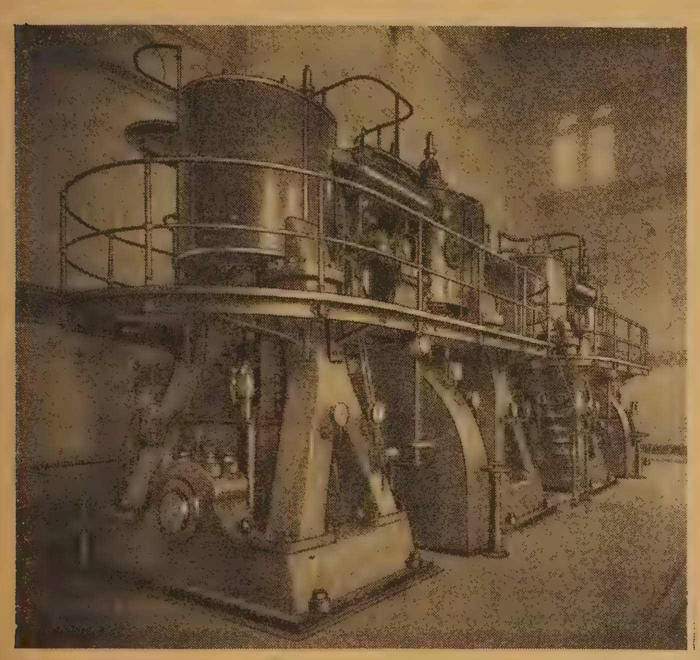


Abb. 4. Maschinen VII und XII. Vorderansicht.

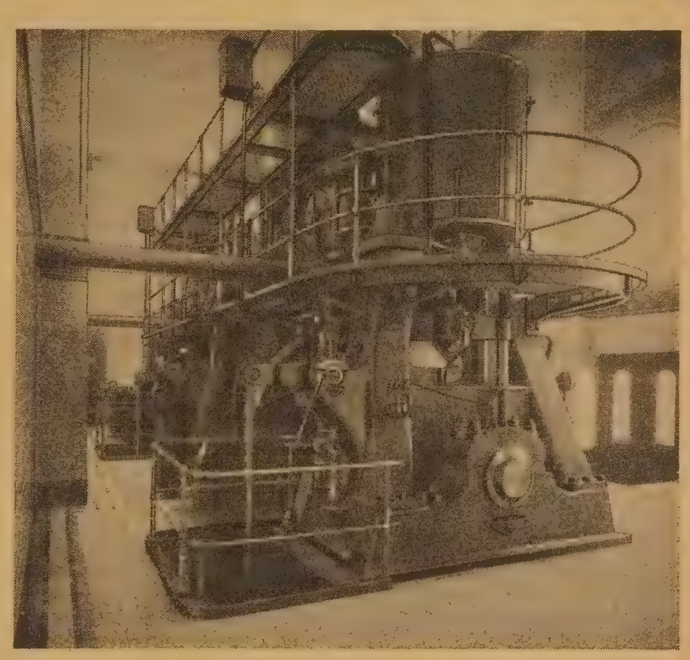


Abb. 5. Maschinen VII und XII. Seiten- und Hinteransicht.

Die aus Phosphorbronze bzw. Stahlguß hergestellten und von der stehenden Reglerwelle betätigten Schraubenräder für den Antrieb der Steuerwelle sind in einen wagerecht geteilten, geschlossenen und mit Öl gefüllten Kasten eingebaut.

Die Reglerwelle erhält ihren Antrieb von der Kurbelwelle ebenfalls durch Schraubenräder, die in einem entsprechend geteilten, an der Hochdruckgrundplatte verschraubten Gehäuse untergebracht sind. Die Welle endigt unten in einem konisch eingesetzten, gehärteten Stahl-Spurzapfen, dessen gleichfalls gehärtete Spurplatte von einem unten am Gehäuse verschraubten Deckel getragen wird. Um sie ohne Wegnahme des unteren Teiles des Steuerwellen-Räderschutzkastens ausbauen zu können, ist ihr oberes Ende unterhalb des an diesem befindlichen Halslagers nach Lösen einer Flanschkupplung abnehmbar eingerichtet.

Auf dieser Welle ist ein Hartung-Federregler Nr. 307 mit hoher Umlaufverstellung, Federeinkapselungsrohr und Muffe mit Kugellager angebracht, mit dem durch Verstellung eines Handrades vom Maschinistenstande aus die minutliche Umlaufzahl zwischen 50 und 90 geregelt werden kann. Ein zweites Handrad auf dem mit Gewinde versehenen unteren Ende des die Zwischenschwinge verstellenden Reglergestänges dient zur Einstellung der minutlichen Umlaufzahlen unter 50 und gestattet im übrigen, den Spielraum des Reglers so zu beschränken, daß er bei Eintritt außergewöhnlicher Widerstände im Triebwerk der Maschine keine größere Füllung als beabsichtigt geben kann.

Außerdem ist jede Maschine mit einem Unfallregler versehen, Z. 1907 S. 988, der an einem Hilfshebel auf der am hinteren Hochdruckzylinderständer gelagerten Achse des Luftpumpen-Schwinghebels angebracht ist und bei Überschreitung von 95 Uml./min die Maschine durch Schließen der vor dem Hauptabsperrventil angeordneten Drosselklappe und gleichzeitiges Öffnen eines Belüftungshahnes des Kondensators augenblicklich zum Stillstand bringt. Dasselbe sowie das Zurückdrehen der obengenannten Teile in die anfängliche Betriebstellung läßt sich durch Verstellen eines Handhebels vom Maschinistenstand aus bewirken.

Die Hochdruckkolben haben drei, die Niederdruckkolben zwei gußeiserne Dichtungsringe. Die Kolben sind durch flußeiserne Muttern mit feinem Gewinde auf dem Kolbenstangenkegel befestigt und gegen Lösen gesichert.

Die 110 mm dicken flußstählernen Kolbenstangen sind mit Kegel und Mutter im oberen Querhaupt befestigt und durch Nasen in diesem wie im Kolben gegen Verdrehen geschützt. Ihre Stopfbüchsen sind mit der bewährten Metallpackung der AMA, Z. 1907 S. 991, versehen, und zwar die der Hochdruckzylinder mit doppelter und die der Niederdruckzylinder mit einfacher Packung.

Die flußstählernen Querhäupter sind mit einseitig angeschraubten gußeisernen Gleitschuhen für die Führung auf den mit schmiedeisernen Deckleisten ausgerüsteten Gleitbahnen der vordern Zylinderständer, die an den Hochdruck-Kolbenstangen mit seitlichen, kegelig eingesetzten und durch Querkeil befestigten Zapfen zum Anhängen des gegabelten Lenkers des Luftpumpen-Schwinghebels versehen, Abb. 4 und 5.

Die zur Kräfteübertragung dienenden 100 mm dicken flußstählernen Umführstangen fassen in Einfräsungen der oberen Querhäupter und der Seitenarme der unteren aus Stahlformguß hergestellten Kreuzköpfe und sind in diesen durch Muttern befestigt und durch Nasen gegen Verdrehen gesichert. Abb. 6 bis 10 zeigen Schnitte durch die Hauptpumpe und die Luftpumpe der Maschinen VII und XII. Der im Betriebe durch Nachziehen der Lager eintretenden Verkürzung des Gestänges kann durch Auswechslung von in die Einfräsung der Kreuzköpfe eingelegten Ringscheiben Rechnung getragen werden. Die 2935 mm langen Umführstangen haben rechnungsgemäß eine rd. 20fache Sicherheit gegen Knicken. Außerdem haben sie in einem an der Grundplatte verschraubten nachstellbaren und mit Phosphorbronzeschalen versehenen Lager Führung erhalten. In den Kreuzköpfen sind die kegelig eingesetzten und durch Federkeile gegen Verdrehen gesicherten flußstählernen Zapfen der mit Lagerflächen von 235 × 155 mm versehenen unteren Pleuelstangenköpfe am starken Ende durch eine vorgeschraubte Druckplatte und am anderen durch eine Mutter mit feinem Gewinde befestigt.

Die Kreuzköpfe werden durch einseitig angeschraubte Gleitschuhe von 520 × 350 mm hinterer Gleitfläche auf gußeisernen Gleitbahnen geführt, die mit ihren schmiedeisernen Deckleisten gemeinsam an Angüssen der vorderen Pumpenlufthauben verschraubt sind. Die vorderen Gleitflächen dieser Gleitschuhe sind wie die der oberen Querhäupter mit aufgeschraubten 75 mm breiten Weißmetalleisten versehen. Die Kreuzköpfe sind mit Querkeil auf dem Kegel der 110 mm starken Pumpenkolbenstangen befestigt.

Die Schubstangen haben die fünffache Länge der Kurbelhalbmesser und am unteren Ende geschlossenen Kopf mit Phos-

phorbronzeschalen, von denen die obere durch Keil und Schraube nachziehbar ist. Die oberen offenen Köpfe haben rund eingesetzte Stahlgußschalen mit Weißmetallausguß.

Mit dem gleichen Metall sind die gußeisernen Lagerschalen der Grundplatten ausgegossen.

Die flußstählernen Kurbelwellen haben je zwei zusammengebaute, um 180° gegeneinander versetzte doppelarmige Kurbeln. Kurbelzapfen und Wellen sind der Länge nach durchbohrt, in die Kurbelarme eingepreßt und in ihnen durch Rundkeil gesichert. Die Wellen haben an ihren 450 mm langen Lagerstellen einen Durchmesser von 300 mm und an der Schwungradbefestigungsstelle einen solchen von 400 mm, die Kurbelzapfen 220 mm Länge und 300 mm Dmr.

Die Lagerung der Kurbelwellen gestattet eine freie Ausdehnung bei etwaigem Warmlaufen eines Teiles. Ihr Wandern unter gewöhnlichen Umständen wird dadurch verhindert, daß sich das mittlere stärkere Wellenstück mit Hohlkehlansatz an die rechtsseitige Lagerschale der Hochdruckkurbel und ein auf das Ende des äußeren Wellenstumpfes verschraubter, überfassender gußeiserner Deckel sich gegen den Weißmetallausguß der linksseitigen Außenlagerschale legt.

Jede Maschine hat ein sechsarmiges, aus zwei Hälften bestehendes und durch Tangentialkeile auf der Welle befestigtes Schwungrad von 2,90 m Dmr., 7550 kg Kranzgewicht und 9250 kg Gesamtgewicht, das am Umfange mit Verzahnung für den Eingriff der Maschinendrehvorrichtung versehen ist. Diese ist auf einem kastenförmigen Verbindungsstück zwischen den Flurträgern hinter dem Schwungrade verschraubt und hat doppeltes Zahnrad- und Schneckenvorgelege für Handantrieb. Die Einrückung erfolgt durch Fußhebel und Sperrklinke, die Ausrückung nach Zurückziehen eines Sicherungsbolzens selbsttätig.

Die an der hinteren Pumpenlufthaube der Hochdruckseite verschraubte Luftpumpe ist auf Anregung der AMA nach der Bauart von Edwards ausgeführt worden, Abb. 6 (links) und 10 (darunter).

Der gußeiserne mit konischem Boden und Rotgußmantel versehene Kolben hat 580 mm Dmr. und ist in einem Stück mit einem als Kolbenstange dienenden Rohre von 220 mm Dmr. gegossen, in dessen oberem Ende der Lagerbolzen des unteren geschlossenen Kopfes der vom Schwinghebel betätigten Triebstange befestigt ist. Der Kolbenhub beträgt 340 mm, wovon 260 mm wirksam sind. Der eingehängte Zylinder sowie der obere Ventilrost sind aus Rotguß angefertigt. Ersterer hat unter 14 Schlitze von 80 × 86 mm Weite; auf dem Ventilrost sind 30 Gummiklappen von 82 mm Dmr. mit je 20 cm² freiem Sitzquerschnitt angebracht. Das Gehäuse ist 1420 mm hoch und hat 860 mm äußeren Dmr. Der Ventilrost ist durch zwei Handlöcher zugänglich. An den Ausgußkasten ist ein im Kesselhaus endigendes 50 mm weites Luftabführrohr angeschlossen.

Der gußeiserne an der hinteren Pumpenlufthaube unter der Niederdruck-Grundplatte angebrachte Kondensator ist in ähnlicher Weise wie bei den Maschinen IX bis XI, Z. 1910 S. 874, im oberen Teile, in den die Auspuffleitung des Niederdruckzylinders mündet, als Speisewasservorwärmer ausgebildet. Die aus Durana-Metall bestehende Spindel des konischen Rotguß-Einspritzventils wird mittels Hebelzuges und Zwischenwelle durch ein Handrad vom Maschinistenstand aus betätigt. Dieses ist gemeinsam mit dem Handrade für die Regelung der Hilfseinspritzung auf einer vor dem Schwungrad-Schutzkasten aufgestellten Säule angeordnet. Die 40 mm weite kupferne Hilfseinspritzleitung ist einerseits mittels Rotguß-Eckventils an den Druckraum der Pumpe unter dem Hochdruckzylinder und andererseits an die 150 mm weite Einspritzleitung angeschlossen, die außerhalb des Gebäudes auf rd. 230 mm erweitert ist und in einer etwa 37 m von diesem entfernten Siebkammer des Kondensationswasserteichs mit Fußventil endigt. In dem Gebäude hat jede Einspritzleitung eine Rückschlagklappe sowie eine an ein T-Stück hinter einem eingeschalteten Absperrschieber angeschlossene 150 mm weite und mit Fußventil versehene Abzweigung, die in den Pumpbrunnen hinabgeführt ist, um im Notfall auch aus diesem das Einspritzwasser entnehmen zu können. Das Niederschlagwasser fließt aus dem unteren Teile des Kondensators durch ein 300 mm weites Verbindungsrohr in den des Luftpumpengehäuses, Abb. 2 und 3, und aus dessen Ausgußkasten durch eine 225 mm weite Leitung in ein vor dem Gebäude liegendes Siel ab.

Der in das Kondensatorgehäuse eingebaute Speisewasservorwärmer besteht aus zwölf kupfernen Rohrschlangen von 24 mm äußerem Durchmesser mit zusammen 4,8 m² Heizfläche, die mit Rotgußverschraubungen in dem doppelwandigen oberen Rotgußdeckel befestigt sind. Das Speisewasser wird dem Druckraum der zunächst gelegenen Hauptpumpe entnommen und fließt aus dem Vorwärmer durch eine 25 mm weite kupferne Leitung in einen Vorbehälter des Speisewasserenthärters im Kesselhaus ab.

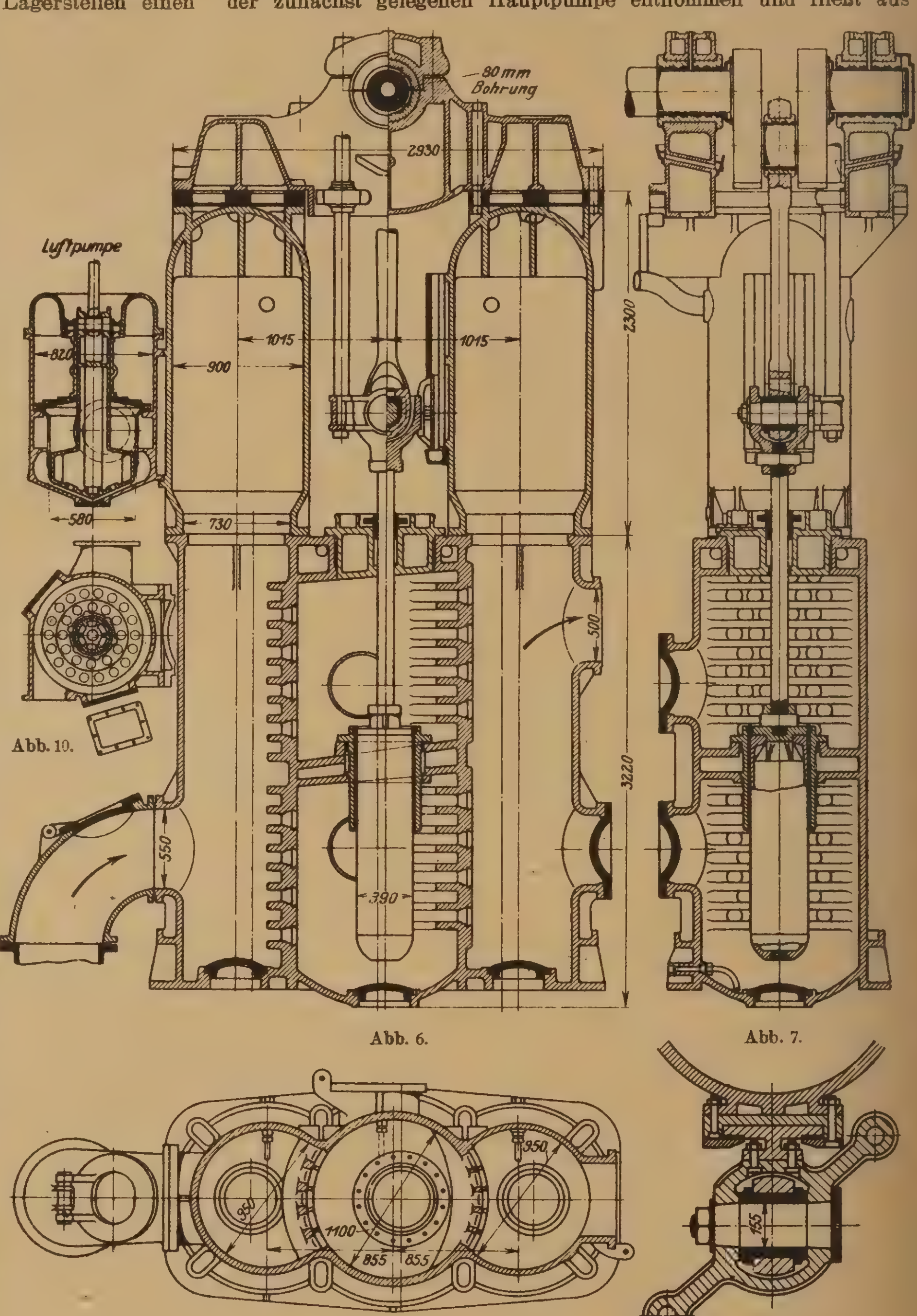


Abb. 6 bis 10. Hauptpumpe und Luftpumpe der Maschinen VII und XII.

Die Dampfzylinder werden mit Hilfe einer von der Achse des Luftpumpen-Schwinghebels betätigten Ritterschen Schmierpresse Nr. 3 mit Reibungsantrieb geschmiert. Die an vier regelbare Tropfenzähler angeschlossenen Ölzuleitungsrohre sind in die Kammern der einzelnen Einlaßventile eingeführt und vor diesen mit Rückschlagventil versehen. Ferner ist auf dem oberen Deckel jedes Zylinders eine Hilfsschmiervorrichtung angebracht.

Alle wichtigeren Lager und beweglichen Teile werden mit Öl geschmiert, das aus einem am hinteren Geländer der oberen Bedienungsbühne angebrachten Vorratbehälter einem am vorderen Lagerbock der Steuerwelle angeordneten Verteilkasten mit sichtbarer Tropfenregelung und Schnellschluß zufließt und von hier

aus den einzelnen Tropfstellen zugeführt wird. Das von den Lagerstellen abfließende Öl wird durch Ölfangschalen und -bleche in ein im Pumpenraum angebrachtes Sammelgefäß abgeleitet und gelangt nach Filterung wieder in den Vorratbehälter.

Im übrigen erfolgt die Schmierung durch starres Fett.

An jeder Maschine sind am vorderen Ständer des Hochdruckzylinders ein an dessen unterer Eintrittkammer angeschlossenes Manometer und ein Verbundmanometer, am Schwungrad-Schutzkasten ein Vakuummeter, ferner am vorderen Ständer des Niederdruckzylinders ein Heizdampfmanometer sowie ein an den Druckraum der darunterliegenden Pumpe angeschlossenes Druckhöhenmanometer und an der dem Mittelgange zwischen beiden Maschinen zugewendeten Seite der Ständer 2 Hubzähler nach A. Kaysers Bauart, Serie 3, angebracht, die sämtlich 190 mm Dmr. haben. Außerdem ist jede Maschine mit einem am Schwungrad-Schutzkasten befestigten Tachometer ausgerüstet, das durch Riemen von der Kurbelwelle angetrieben wird.

Ferner sind am Mittelpfeiler der Maschinenhausvorderwand vor den Maschinen zwei die Druckhöhe in den Haupt-Druckwindkesseln anzeigende Manometer von 340 mm Dmr. und an dem der Rückwand ein gleich großes Kesseldruckmanometer und zwei den Wasserstand in den einzelnen Pumpbrunnen anzeigende Manometer von 190 mm Dmr. angeordnet.

Zur Vornahme von Wärmemessungen sind Thermometertaschen an den in Betracht kommenden Stellen der Maschinen eingebaut. Sämtliche Flanschverbindungen der dampfführenden Teile der letzteren greifen mit Feder und Nut ineinander und sind mittels Klingerits gedichtet.

Die mit Heißdampf in Berührung kommenden Absperrventile haben Reinnickel-Dichtungsringe nach der Bauart von Schäffer & Budenburg, die übrigen Dampfventile Rotgußausstattung. Die Absperrventile der Speisewasserleitungen sowie die kleineren an den Hilfsleitungen der Hauptpumpen sind aus Rotguß angefertigt. Die Spindeln aller Absperrventile über 25 mm Durchgangweite haben außenliegendes Gewinde im Säulenaufsatz und sind an den im Sitz geführten Ventilkegeln durch Überwurfmuttern befestigt.

Die Heißdampfhähne haben Gußeisengehäuse und Nickelküken, die übrigen Hähne sind aus Rotguß hergestellt und alle Hähne der Dampfzylinder und in den Druckleitungen mit über 25 mm Durchgangweite mit Stopfbüchsen versehen.

Die voneinander absperrbaren Pumpbrunnen, aus denen die Hauptpumpen der beiden Maschinen das Wasser entnehmen, haben zusammen drei absperrbare Verbindungen mit einem durch eine Querwand mit Schütze unterteilten Vorbrunnen, dem das Wasser von zwei verschiedenen Seiten zugeführt werden kann. Die Sohle der Pumpenbrunnen liegt auf + 1,0 m HP, d. i. 3,77 m unter dem auf + 4,77 m angeordneten Pumpenraumflur. Der Saugwasserspiegel schwankt täglich zwischen etwa + 4,6 und 3,0 m und liegt im Mittel auf etwa + 3,8 m.

Das gußeiserne Gehäuse jeder Pumpe, Abb. 6 bis 8, hat, wie bereits erwähnt, über dem hinteren Saug- und vorderen Druckraum je eine Lufthaube, die paarweise durch ein 100 mm weites flußeisernes, innen verzinktes Luftumlaufrohr verbunden sind. Saug-, Pump- und Druckraum eines jeden Gehäuses sind in einem Stück gegossen. Die senkrechten, kräftig verrippten Trennwände dienen zur Aufnahme der weiter unten beschriebenen Ventile.

Auf dem oberen doppelwandigen Boden des Pumpraumes ist ein ebensolcher Deckel mit der Stopfbüchse der 110 mm starken flußstählernen Pumpenkolbenstange verschraubt. In der Mitte des Pumpraumes befindet sich ein doppelwandiger Zwischenboden, auf dem die mit einem Rotgußfutter versehene 745 mm lange gußeiserne Laufbüchse des Tauchkolbens durch Flanschverschraubung befestigt und in dem sie unten durch eingestemmte Bleiwolle gedichtet ist.

Der gußeiserne Tauchkolben hat einen aufgeschraubten Stahlgußkopf, in dem der Kolbenstangenkegel durch Keil befestigt ist.

Am Saugraum befindet sich unten ein 550 mm weiter Flanschstutzen für den Anschluß des Krümmers des in den Pumpbrunnen hinabgeführten und am unteren Ende trompetenartig erweiterten Saugrohres, am Druckraum oben ein solcher von 500 mm l. W. für den Anschluß der Druckleitung.

Ähnliche Flanschstutzen von 450 mm l. W. befinden sich unten am Druckraum, an den Pumpräumen und auf dem Saugrohrkrümmer zum Befahren der einzelnen Gehäuseteile. Ihre Deckel sind lukenartig aufgehängt. Ferner ist an jeder Lufthaube ein 200 mm weites Handloch mit Deckelverschluß angeordnet.

Die Flanschanschlüsse der Saug- und Druckrohre sind durch Flachgummi, alle übrigen Teile sowie die Verschlußdeckel durch Gummirundschnur in Dreiecknut gedichtet.

Die Gehäuse haben oben Angüsse für die Befestigung der Unterzüge der um sie gemeinsam herumgeführten Bedienungsbühne und unten je acht angegossene Augen für die 64 mm starken Grundanker. Die beiden Pumpräume einer jeden Pumpe sind durch einen 40 mm weiten Umlauf-Stopfbüchsenhahn aus Rotguß mit dem Druck- bzw. Saugraum verbunden. Der obere Pumpraum wird durch einen 25 mm weiten Durchganghahn mit abwärts geführter Leitung, der Saug-, Druck- und untere Pumpraum je durch einen 30 mm weiten Eckhahn mit kupfernem Eintauchrohr in eine Sammelleitung entwässert, die sich an eine Dampfstrahlpumpe anschließt.

An jedem Pumpraum ist ein Indikatorhahn und oben ein Lufthahn und an je einer Lufthaube über dem Saug- und dem Druckraum ein Wasserstandanzeiger angebracht. Das Luftumlaufrohr der Saugraum-Lufthauben jeder Maschine ist durch eine 20 mm weite absperrbare Luftabsaugeleitung an die eben erwähnte Dampfstrahlpumpe sowie an den Kondensator angeschlossen und das der Druckraum-Lufthauben mit einem 20 mm weiten absperrbaren Rückschlagventil für den Anschluß einer Luftauffülleitung versehen, die eine im Pumpenraumflur aufgestellte und an die Pumpen-Druckleitung angeschlossene Luftschleuse von rd 1 m³ Inhalt mit den einzelnen Maschinen und den beiden Haupt-Druckwindkesseln verbindet.

Die aus Abb. 2 ersichtliche Anordnung der gußeisernen Druckleitungen ermöglicht, daß die Pumpen beider Maschinen durch beide Haupt-Druckwindkessel sowie durch jeden von ihnen gemeinsam oder getrennt in das Leitungsnetz des Hoch- oder Niederdruckgebiets fördern können.

Zu dem Zwecke wechselt ihre lichte Weite zwischen 500, 700 und 800 mm und sind in sie vier Absperrschieber von 500 und zwei von 700 mm Durchgangweite sowie an den Anschlußstellen Kugel-T-Stücke von entsprechenden Abmessungen eingebaut. Die Absperrschieber sind sämtlich mit einem 40-mm-Umlaufschieber und die beiden größten außerdem mit einem 30-mm-Absperrschieber für den Anschluß der Luftschleusen-Betriebsleitung versehen.

Die sechs großen Absperrschieber, deren Öffnungsgrad durch Zeigerwerk kenntlich gemacht wird, werden mittels Verlängerungsstange, Aufsatzschlüssel und Handrad vom Maschinenraumflur aus betätigt. Die Druckleitungen sind an acht Stellen durch gußeiserne Säulen unterstützt.

Die beiden an der Nordwand des Maschinengebäudes aufgestellten flußeisernen Haupt-Druckwindkessel haben einen Durchmesser von 1,6 m und eine Höhe von 7,0 m im zylindrischen Teil. Die aus drei Blechschüssen mit nur einer Längsnaht bestehenden Mäntel sind 16, die gewölbten Böden 23 mm stark. Sämtliche Nähte sind zweireihig überlappt genietet.

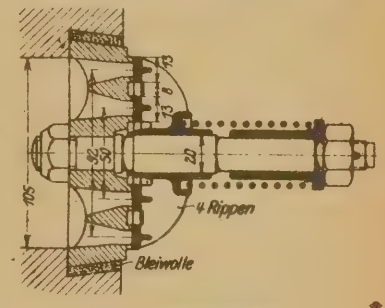


Abb. 11. Pumpenventil.

Jeder von ihnen ruht auf fünf angenieteten gußeisernen Tragfüßen, die mit dem Unterbau verankert sind. Die 800 mm-Druckleitung ist durch einen an den unteren Mantelschuß der Windkessel angenieteten geschweißten Flanschstutzen angeschlossen. An den unteren Boden ist ein kräftiger Stahlgußflansch angenietet für den Anschluß des 800 mm weiten Verbindungskrümmers mit dem städtischen Leitungsnetz.

Am oberen Boden und unteren Mantelschusse befindet sich je ein Mannloch.

Jeder Haupt-Druckwindkessel ist mit zwei Wasserstandzeigern, einem 16-mm-Absperrventil für die Verbindungsleitung mit dem zugehörigen großen Druckhöhenmanometer, einem absperrbaren 20-mm-Rückschlagventil für die Luftauffülleitung und einem 50-mm-Absperrventil für eine ins Kesselhaus geführte Wasserleitung ausgerüstet.

Jede Hauptpumpe hat 80 federbelastete zweiringige Saug- und die gleiche Anzahl Druckventile aus Bronze, Abb. 11, die sich auf wagerecht angeordneten Führungsspindeln bewegen, und deren Sitze mittels Bleiwolle in eingegossenen konischen Aussparungen der senkrechten Trennungswände des Gehäuses befestigt sind. Die Ringe haben einen mittleren Durchmesser von 92 und 50 mm und 13 mm Breite, die Sitzspalte sind 8 mm breit. Die Ventiloberfläche beträgt hiernach 58 cm², der freie Sitzquerschnitt 35,7 cm² und die Länge des Ventilspalts 0,892 m. Der Sitz hat sechs im inneren Spalt 5 und im äußeren 7 mm starke Rippen, das Ventil vier von 3 mm Stärke. Die aus Durana-Metall — MF blank 4/4 hart gezogen — angefertigten 20 mm starken Führungsspindeln sind im Sitz mit feinem Gewinde und vorgeschraubter Mutter befestigt.

Am anderen Ende befindet sich eine über die Spindel geschobene und durch Mutter befestigte Büchse, die zur Einstellung der Federbelastung dient und den größten Ventilhub auf 10 mm begrenzt. Die Federn sind aus Phosphorbronzedraht hergestellt, der nach der gelegentlich einer Probelieferung Anfang 1914 vom Lieferanten gemachten Angabe eine Zerreißfestigkeit von 3900, eine Verdrehungsfestigkeit von 6500 und eine Gleitziffer von 430 000 kg/cm² hat. Ihre ungespannte Länge beträgt 80 mm, die Drahtstärke 4 mm, der mittlere Durchmesser 31 mm und der Federmaßstab bei 10,5 Windungen 4,56 kg/cm². Der Ventilteller wiegt etwa 435 g, die Feder etwa 135 g.

Die nötige Federbelastung der Ventile wurde nach den von Prof. H. Berg auf Grund von Versuchen ermittelten Werten[1]) für die bei 90 Uml./min zu 6,5 mm angenommene größte Ventil-

[1]) H. Berg: Die Wirkungsweise federbelasteter Pumpenventile und ihre Berechnung, Z. Bd. 48 (1904) S. 1098 u. f. sowie Heft 30 der „Mitteilungen über Forschungsarbeiten".

erhebung zu rd. 6,0 kg bei einer Vorspannung von 3,15 kg berechnet.

Die Ventile sind über zwei Jahre lang in einer kleinen von der Betriebswerkstatt-Wellenleitung angetriebenen einfach wirkenden und mit einem Saug- und einem Druckventil ausgestatteten Tauchkolbenpumpe von 116 mm Kolbendurchmesser und 174 mm Hub ausprobiert worden, die mit Schaugläsern zur Beobachtung des Druckventils versehen ist, und bei der dessen Erhebungslinien in der ganzen Länge des Kolbenhubes aufgenommen wurden. Die minutliche Umlaufzahl der Versuchspumpe war so gewählt, daß sie für gewöhnlich 110 betrug, wobei jedes Ventil die gleiche sekundliche Wassermenge von 0,00336 m³ wie in den Hauptpumpen später bei $n = 90$ verarbeitete, während 91 bzw. 73 Uml./min der Versuchspumpe 75 bzw. 60 Uml./min der Hauptpumpen entsprachen und die dabei sekundlich verarbeiteten Wassermengen rechnungsgemäß sich auf 0,0028 bzw. 0,00224 m³ beliefen.

Nach den Ventil-Erhebungslinien betrug

	bei $n =$	110	91	73
der größte Ventilhub	mm:	6,5	4,5	3,5
der mittlere Ventilhub	mm:	4,5	3,0	2,2

und es berechnet sich hiernach

die mittlere sekundliche Wassergeschwindigkeit im Sitz . .	in m:	1,90	1,58	1,27
die größte wie vor	in m:	3,05	2,54	2,04
die größte sekundliche Wassergeschwindigkeit im Ventilspalt bei einem μ von 0,402, 0,52, 0,562	in m:	4,55	4,14	4,09
und die Ventilbelastung in m Wassersäule (in der Totlage 0,543 m) . .		1,054	0,90	0,82

Der für $n = 90$ der Hauptpumpen der Berechnung der Federbelastung zugrunde gelegte größte Ventilhub von 6,5 mm traf demnach bei der entsprechenden minutlichen Umlaufzahl der Versuchspumpe für das Druckventil tatsächlich ein. Nach im ganzen rd. 50,2875 Millionen Hüben hatten der Ventilteller sowie die Führungsspindel keine wägbare Gewichteinbuße und die Belastungsfeder keine Veränderung ihrer ursprünglichen Länge erlitten.

Die zugehörige Dampfkesselanlage ist in dem hinter dem Maschinengebäude befindlichen Kesselhaus untergebracht. Der hinter den Kesseln liegende Rauchkanal hat in einer südlichen Verlängerung auch die Rauchgase der Kesselanlage der Maschinen I und II[1]) mit aufzunehmen und durch eine an der Nordwand des Kesselhauses angeordnete Verlängerung mit in den gemeinschaftlichen Schornstein abzuführen, dessen Säule in eine mit Treppenanlage versehene Ummantelung eingebaut ist. Nach einem bei seiner Erbauung im Jahre 1883 aufgestellten, inzwischen jedoch aufgegebenen Plane sollte er später auch noch für die Abführung der Rauchgase von zwei weiteren Kesselanlagen dienen, und die Schornsteinsäule hat dementsprechend zwar eine lichte Weite von 2,0 m, aber nur eine Höhe von 43 m über den Rosten erhalten. Da eine Verlängerung der Säule aus baulichen Gründen nicht möglich war, ist sie vor Inbetriebnahme der neuen Kesselanlage zwecks Erhöhung des Schornsteinzuges vorsichtshalber durch eine gußeiserne Platte mit 1,5 m weiter Durchgangsöffnung abgedeckt worden.

Die neue Anlage hat im allgemeinen die gleiche Anordnung wie die Kesselanlagen der Maschinen V und VI[2]) und IX bis XI[3]). Bei ihr wurde jedoch vorläufig von Einbau eines Rauchgas-Speisewasservorwärmers Abstand genommen, weil 1914 alle Aussicht bestand, das Neuengammer Erdgas noch auf längere Zeit hinaus für die Kesselheizung im Hauptpumpwerk[4]) verwenden zu können und hierbei ein solcher Vorwärmer keinen seinen Anlagekosten entsprechenden Nutzen brachte. Sein Einbau ist auch, nachdem die Gasheizung Mitte 1918 infolge des starken Rückganges der Ergiebigkeit der Gasquelle durch die Verfeuerung anderer Brennstoffe hatte ersetzt werden müssen, wegen der inzwischen außerordentlich gestiegenen Anschaffungskosten zunächst bis auf weiteres hinausgeschoben.

Die Lieferung der aus vier Zweiflammrohrkesseln für 12,5 at Betriebsdruck mit je 72,5 m² Heizfläche, 72 m² Überhitzer-Heizfläche und 2,1 m² Rostfläche bestehenden Anlage wurde Anfang 1915 an L. W. Bestenbostel & Sohn G. m. b. H., Bremen, zum Preise von 47 800 ℳ übertragen und von dieser Firma bereits Anfang 1915 beendet, bis auf die Dampf- und Speiseleitungen, die wegen der zeitlichen Verhältnisse erst 1920 beschafft werden konnten. Mit Rücksicht auf diese ist auch der Vertragspreis für die Kessellieferung später auf 91 920 ℳ erhöht worden. Die Kessel haben wie die der Maschinen IX bis XI[5]) eine innere Länge von 7160 mm und einen inneren größten Durchmesser von 2300 mm erhalten. Die gewellten 800 × 900 mm weiten, mit einer geschweißten Rundnaht in einer Länge hergestellten Flammrohre sind mit drei eingeschweißten Quersiedern von 250 mm äußerem Durchmesser versehen.

Die hinter den Kesseln angeordneten Überhitzer bestehen aus je 14 stählernen senkrecht aufgehängten Rohrschlangen von 38 mm äußerem Durchmesser und 4 mm Wandstärke, die durch Flanschverschraubung mit den auf der Überhitzerkammerdecke ruhenden Sammelstücken aus Stahlformguß verbunden sind.

Die Rauchgase werden ebenso wie bei den Kesseln der vorerwähnten Maschinen[6]) geführt. Die Dampfrohrleitungen weichen von den dortigen insofern ab, als von der Möglichkeit, die Maschinen unter Umgehung der Überhitzer auch mit gesättigtem Dampf versorgen zu können, Abstand genommen und das Rohrbruch-Absperrventil am Dome jedes Kessels unmittelbar mit dem Sammelstück der Überhitzer-Eintrittseite durch eine 90 mm weite Dampfleitung verbunden ist, in deren wagerechten Mittelteil ein Drosselflansch für den Anschluß eines Gehre-Dampfmessers eingeschaltet ist.

In die durch Absperrventile unterteilte Sammelleitung an der Rückwand des Maschinenhauses von 110 mm l. W. sind zwei im zylindrischen Teile 800 mm hohe und 400 mm weite Wasserabscheider für den Anschluß der Hauptdampfleitung jeder der neuen Maschinen eingebaut.

Die als Ringleitung ausgebildete Speiseleitung hat 65 mm l. W. und besteht wie die Hauptdampfleitungen aus flußeisernen Rohren mit aufgewalzten Stahlgußflanschen mit Klingeritdichtung in Nut und Feder[7]). Die Absperrventile haben sinngemäß die gleiche Ausführung wie die der Maschinen erhalten. Die übrige Ausstattung der Kessel ist dieselbe wie bei den Kesseln der Maschinen V und VI und IX bis XI.

Das in den einzelnen Maschinen-Vorwärmern in seiner Temperatur um rd. 25 °C erhöhte Speisewasser wird durch getrennte Leitungen einem Vorbehälter des Speisewasserenthärters zugeführt und darin durch den Abdampf der Speisepumpen und das aus den Kesseln beständig in kleiner Menge abgeblasene Salzwasser mittels eingebauter Rohrschlangen weiter auf rd. 60 °C vorgewärmt.

Der mit Doppelfilter versehene, von Robert Reichling & Co., Dortmund, zum Preise von 2335 ℳ gelieferte Speisewasserenthärter ist für eine stündliche Leistung von 5 cbm für das Kalk-Soda-Verfahren eingerichtet.

Aus dem Enthärter fließt das gereinigte Wasser zusammen mit dem Mantelkondensat der Niederdruckzylinder in einen stehenden rd. 1,5 m³ fassenden Vorratbehälter ab, um von dort in zwei von Weise Söhne, Halle, zum Gesamtpreis von 2380 ℳ gelieferte Duplex-Speisepumpen von 160 mm Dampfzylinderdurchmesser und 150 mm Hub geleitet zu werden, von denen eine als Reserve dient und jede mit den Pumpenkolben von 100 mm Dmr. bei 60 minutlichen Doppelhüben stündlich rd. 12 m³ in die Speiseringleitung der Kessel drücken kann.

Aus verschiedenen Gründen wurde erst im März 1923 der Dampfverbrauch der beiden neuen Maschinen festgestellt, der von der AMA unter Annahme eines Pumpenliefergrades von 97 vH und der danach bei 75 Uml./min berechneten stündlichen Liefermenge von rd. 1500 m³, bei 65 m durchschnittlicher Förderhöhe und bei einem Dampfüberdruck von 11,5 at und bei einer Dampftemperatur am Hochdruckzylinder von

350 °C bzw. 300 °C
mit 4,55 kg bzw. 4,95 kg

für die wirkliche Pumpen-Pferdestärke und Stunde gewährleistet worden war.

Hierbei wurden mit jeder Maschine an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Versuche von je achtstündiger Dauer vorgenommen und die folgenden hier in Betracht kommenden Ergebnisse erzielt:

Maschine		XII		VII	
Mittlerer Dampfüberdruck . . .	at	11,5	11,3	11,3	11,4
Mittlere Dampftemperatur	°C	333	331	331	340
„ Förderhöhe	m	64,33	64,23	64,15	64,16
„ min. Umlaufzahl		75	75	75	75
„ Stundenfördermenge . .	m³	1502	1504	1502	1500
„ Pumpenleistung	PS_e	358	358	357	357
„ indiz. Maschinenleistung	PS_i	400	400	390	395
Mittlerer mechan. Wirkungsgrad . .		0,896	0,895	0,908	0,908
Dampfverbrauch f. 1 Pumpen-PS_e	kg/h	5,25	5,30	5,34	5,20
Dampfverbrauch für 1 PS_i . .	kg/h	4,71	4,75	4,85	4,73
Auf die Versuchsverhältnisse umgerechnet. gewährleist. Dampfverbrauch für 1 Pumpen-PS_e .	kg/h	4,69	4,70	4,70	4,63
Überschreitung d. Gewährleistung	in kg	0,65	0,60	0,64	0,57
„ „ „	in vH	11,9	12,8	13,6	12,3

Von der Wiedergabe der Dampf- und Pumpendiagramme kann Abstand genommen werden, da sie nichts Besonderes bieten. Abb. 12 zeigt ein Diagramm der Edward-Luftpumpe vom ersten Versuchstage der Maschine VII.

Bezüglich der Versuchsverhältnisse ist zu bemerken, daß die Heizung der Niederdruckzylinder bei den Versuchen mit der Maschine XII und dem ersten Versuche mit der Maschine VII mit gedrosseltem Heizdampf von 2 at Überdruck und beim zweiten Versuche mit der Maschine VII mit Aufnehmerdampf von i. M.

[1]) Z. Bd. 46 (1902) S. 829 u. 874.
[2]) Z. Bd. 51 (1907) S. 992.
[3]) Z. Bd. 54 (1910) S. 876 u. f.
[4]) Z. Bd. 61 (1917) S. 298 u. Journal f. Gasbel. 1916 S. 609 u. f.
[5]) Z. Bd. 51 (1907) S. 1227.

[6]) Z. 1907 S. 992, 1910 S. 876.
[7]) Die flußeisernen Rohre mußten inzwischen z. T. durch kupferne ersetzt werden.

0,76 at Überdruck stattfand und daß der Dampfdruck in der unteren und die Dampftemperatur in der oberen Einlaßventilkammer des Hochdruckzylinders gemessen wurden.

Die beträchtliche Überschreitung des gewährleisteten Dampfverbrauchs bei dem vorzüglichen mechanischen Wirkungsgrad von im Mittel 0,90 ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß der AMA bei Abgabe des Angebots zu Beginn des Krieges nach Einziehung ihrer ersten technischen Kräfte ein Irrtum unterlaufen ist, indem sie vielleicht auf Grund der in Z. 1910 S. 995 Zahlentafel 1 veröffentlichten Versuchsergebnisse der Dreifach-Expansions-Pumpmaschinen IX bis XI angenommen hat, mit den Verbundmaschinen noch günstigere Ergebnisse zu erreichen, als dies beim Versuch 4 mit der Maschine X bei 11,6 at Dampfüberdruck, 352 °C Dampftemperatur, 63,26 m mittlerer Förderhöhe und 50 minutlichen Umläufen der Fall war. Bei diesem Versuch, bei dem die stündliche Liefermenge unter Zugrundelegung eines Pumpenliefergrades von 0,97 1507 m³ betrug, war ein Dampfverbrauch von 4,17 kg für die PS_i-Stunde und von 4,75 kg für die theoretische Pumpen-Pferdestärke und Stunde festgestellt, welch letzterer bei dem eben angegebenen Liefergrade (also einem mechanischen Wirkungsgrad von 0,853) rd. 4,90 kg für die PS_e-Stunde entspricht.

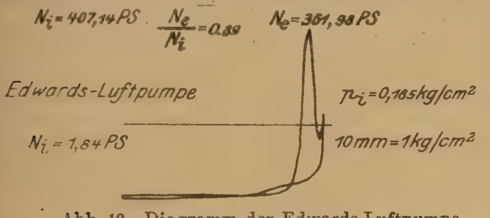


Abb. 12. Diagramm der Edwards-Luftpumpe der Maschine VII.

Bei Umrechnung auf die mittleren Versuchsverhältnisse der Maschinen VII und XII ergibt sich für letzteren 5,18 kg.

Nun errechnete sich aber bei diesem Versuche

der thermische Wirkungsgrad $\eta\ t$ zu 0,20 und
der thermodynamische Wirkungsgrad $\eta\ d$ zu 0,71,

während sich bei dem letzten Versuche mit der Maschine VII die bezüglichen Werte zu 0,18 und 0,615 ergaben, woraus in dieser Beziehung die Überlegenheit der Dreifach-Expansionsmaschine X hervorgeht.

Aus den vier Versuchen mit den Maschinen VII und XII berechnet sich ein mittlerer Dampfverbrauch von 5,27 kg für die PS_e-Stunde bei einer mittleren Dampftemperatur von 334 °C.

Zieht man, um einen Anhalt für die Angemessenheit dieses Dampfverbrauchs zu erhalten, den von zwei erstklassigen Dampf- und Pumpmaschinenbauanstalten, deren Preisforderung für Lieferung der obengenannten Maschinen s. Z. um 43 040 ℳ bzw. 57 540 ℳ höher war als die der AMA, für einen Dampfüberdruck von 11,5 at und eine Dampftemperatur von 350 °C übereinstimmend gewährleisteten Dampfverbrauch von 5,0 kg für 1 PS_eh zum Vergleich heran und rechnet ihn nach den bei den Verbundmaschinen V und VI (Z. 1907 S. 1179) für die dort angegebenen Temperaturunterschiede erzielten Ergebnissen auf 334 °C um, so erhält man einen Dampfverbrauch von etwa 5,22 kg für 1 PS_eh, und es kann dieser deshalb als angemessen für die Maschinen VII und XII unter deren Versuchsverhältnissen angesehen werden.

Die AMA hat höchstwahrscheinlich auf Grund ähnlicher Erwägungen davon abgesehen, die angeforderte Verbesserung des Dampfverbrauchs dieser beiden Maschinen zu versuchen und die sich nach dem Vertrage durch die Überschreitung ihrer Gewährleistung ergebenden Folgen auf sich genommen.

Inzwischen haben sich die beiden Maschinen dank der vorzüglichen Ausführung, die ihnen die AMA trotz sehr erschwerender Umstände hat zuteil werden lassen, als sehr brauchbar und betriebsicher erwiesen.

Bei höherer Überhitzung des Betriebsdampfes, die sich bei den Abnahmeprüfungen mit den zur Verfügung stehenden Brennstoffen und vorhandenen Rosteinrichtungen nicht erreichen ließ, sowie nach Einbau eines Rauchgas-Speisewasservorwärmers für die Kesselanlage werden sie voraussichtlich auch in wirtschaftlicher Beziehung den seit 15 Jahren in Betrieb befindlichen Dreifach-Expansions-Pumpmaschinen IX bis XI nicht mehr erheblich nachstehen.

Gegenüber ihrer Bauart bietet die für die Maschinen VII und XII wiedergewählte Verbundanordnung den großen Vorteil, daß diese eine um 12 vH geringere Höhe und eine um rd. 33 vH geringere Länge und Grundfläche haben, sowie daß ihr Gesamtgewicht einschließlich aller Zubehörteile im Maschinengebäude gegenüber dem von zwei der ebengenannten Dreifachexpansions-Pumpmaschinen mit zwei Druckwindkesseln um rd. 186 000 kg und, auf 1 PS_eh bei höchster Beanspruchung — d. i. bei einer stündlichen Fördermenge von 1800 m³ und 72 m Förderhöhe — bezogen, mit 336 kg um 37 vH geringer ist und ihr Angebotpreis sich im Vergleich mit dem entsprechend umgerechneten Angebotpreise von zwei der älteren Maschinen um rd. 134 000 ℳ oder ebenfalls um 37 vH niedriger stellte; daneben wird bei ihrem Betrieb der Lohn für einen Maschinenwärter erspart.

Mit den neuen Maschinen ist die Anzahl der Pumpmaschinen des Hauptpumpwerks Rothenburgsort auf 12 und die größte stündliche Dauerleistung auf rd. 16 500 m³ oder 3600 PSe gestiegen.

Von den älteren Maschinen kommen 6 nur für die Versorgung des Niederdruckgebiets mit zusammen 7100 m³ Stundenfördermenge in Betracht, während die übrigen sechs mit zusammen 9400 m³ sowohl für die Versorgung dieses Gebiets als auch des Hochdruckgebiets verwendet werden können.

Da am Tage des bisherigen Höchstverbrauches, am 14. Juli 1923,

der größte Stundenverbrauch im Niederdruckgebiet	4695 m³
und im Hochdruckgebiet	7585 m³,
der größte Gesamtstundenverbrauch daher	12 280 m³

betrug, so reicht die stündliche Gesamtliefermenge der vorhandenen 12 Maschinen selbst bei Ausfall einer Maschine in jedem Versorgungsgebiet noch für eine Reihe von Jahren für die Versorgung des Gesamtgebietes aus. [A 79]

Untersuchung der Riffelbildung an Schienen mit Hilfe des Torsiographen.

Von Dr. J. Geiger, Augsburg.

Die Riffelbildung läßt sich, wie Messungen am fahrenden Wagen deutlich zeigen, auf Reibschwingungen, entstehend durch ungleichmäßige Geschwindigkeiten beider Räder der gleichen Achse beim Befahren von Krümmungen, zurückführen.

Die Riffelbildung hat seit langem zu den störendsten Erscheinungen, insbesondere im Straßenbahnbetrieb, gehört. Da ich aus physikalischen Gründen zu der Ansicht hinneigte, daß hierbei Schwingungserscheinungen, und zwar Verdrehungsschwingungen eine wichtige Rolle spielen könnten, so entschloß ich mich, einen entsprechenden Versuch durchzuführen. Mein Gedankengang war dabei kurz folgender:

Bewegt sich eine Achse mit zwei auf ihr festsitzenden Rädern in einer Gleiskrümmung, so müssen beide Räder entsprechend dem Krümmungshalbmesser ungleiche Geschwindigkeiten annehmen. Da sie fest auf der gleichen Achse sitzen, muß sich diese verdrehen. Die auf den Raddurchmesser bezogene Drehkraft wächst also so lange an, bis sie größer ist als die Reibungskraft. In diesem Augenblick schnellt nun dasjenige der beiden Räder, bei dem dies zuerst eintritt, plötzlich zurück. Während aber vorher der Reibungsbeiwert der Ruhe zwischen Rad und Schiene in Betracht kam, ist jetzt während des Zurückschnellens mit dem beträchtlich kleineren Reibungsbeiwert der Bewegung zu rechnen, das Rad wird daher über die Lage, die der spannungslos gedachten Achse entspricht, hinausschnellen, wieder zurückschwingen usf. Da das Befahren einer Krümmung einige Zeit dauert, und der Radsatz infolge der verschiedenen Größe des äußeren und inneren Halbmessers der Gleiskrümmung ständig aufs neue zu derartigen Schwingungen angeregt wird, so erstreckt sich die Erscheinung über die ganze Krümmung und ein Stück darüber hinaus.

Während der Vorbereitungen zu den Versuchen, die auf der Städt. Straßenbahn Augsburg stattfanden, wurde ich von Herrn Dipl.-Ing. Klinger darauf aufmerksam gemacht, daß dieselbe Theorie bereits von A. Wichert in der „Verkehrstechnik" (25. März und 15. April 1921) veröffentlicht worden sei. Da Wichert praktisch genau den gleichen Gedankengang einschlägt, so kann ich unter Hinweis auf obige Quelle auf eine ausführlichere Wiedergabe der Theorie verzichten. Ich will daher hier nur kurz bemerken, daß die Berechnung der so erzeugten Eigenschwingungen einfach ist. Das eine Rad, das wir mit a bezeichnen wollen, bildet mit der Schiene ein starres Ganzes. Das andere Rad b führt durch mechanische Reibung gedämpfte Drehschwingungen um das Rad a aus. Die auf den Radhalbmesser R umgerechnete Masse des Rades b sei m; b ist durch die elastische Welle von der Länge l mit a verbunden. Die minutliche Eigenfrequenz wird

$$n_e = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{J\,G}{R^2\,l\,m}}$$

G ist hierbei der Schubmodul. Im Falle des von mir untersuchten Trambahnwagens ergab sich hiernach für die Triebachse

$n_e = 3140$ Schwingungen i. d. Minute

und für die Laufachse

$n_e = 5790$ Schwingungen i. d. Minute.

Wenn derartige Schwingungen auftreten, so war zu erwarten, daß man sie mit Hilfe des bekannten Torsiographen[1]) nachweisen konnte. Es wird hierbei die Winkelabweichung, d. h. die Un-

[1]) Siehe Z. Bd. 60 (1916) S. 811 u. f. oder „Maschinenbau" Bd. 2 (1922) S. 167

gleichmäßigkeit der Drehbewegung der zu untersuchenden Stelle einer Welle gegenüber einer genau gleichmäßig mit der gleichen Drehzahl umlaufenden Welle gemessen.

Um ein einwandfreies Laufen des Bandantriebes zu gewährleisten, konnte der Torsiograph nicht unmittelbar auf dem Wagen angeordnet werden, da die Achsen auf einem Drehgestell untergebracht waren. Trotzdem bereitete die Aufstellung keinerlei Schwierigkeiten, wie aus Abb. 1 ersichtlich ist. Die Bedienung — Ein- und Ausschalten der Papierführung usw. — erfolgte während der Fahrt vom Trittbrett des Wagens aus.

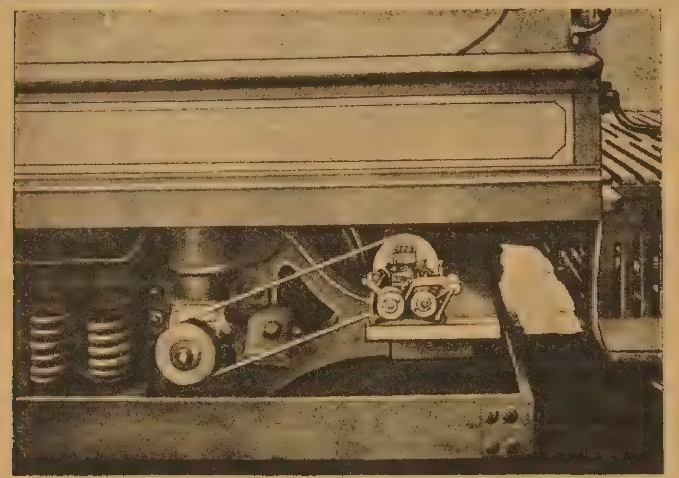


Abb. 1. Versuchsanordnung zur Ermittlung der Radschwingungen.

Versuchsergebnisse.

Auf geraden Strecken, auf denen keine Riffeln vorhanden waren, ist das Torsiogramm eine gerade Linie, die nur durch die Schienenstöße sowie Unregelmäßigkeiten der Fahrbahn oder durch Änderung der Fahrgeschwindigkeit gekrümmt wird. Rasche Schwingungen sind hier lediglich im unmittelbaren Anschluß an den Schienenstoß (bei *s*) zu bemerken, Abb. 2 und 3. Grundsätzlich anders ist jedoch das Torsiogramm beim Befahren von Kurven. Die hier wiedergegebenen Torsiogramme, Abb. 4 bis 7, beziehen sich sämtlich auf die Strecke von „Fischzug Petri" bis „Lechhausen End" der Augsburger Städtischen Straßenbahn.

Die Torsiogramme machen keinerlei Anspruch auf besondere Schönheit, sie sollten auch lediglich zunächst grundsätzlich zeigen, ob sich durch diese bequeme, an Ort und Stelle, d. h. unter den wirklich auftretenden Einflüssen, durchführbare Messung die Frage der Riffelbildung klären lassen würde. Zu einer abschließenden Behandlung dieser Frage sind zahlreiche Messungen notwendig, auch wäre zweckmäßig, außer einem Sekundenkontakt

1) einen Umdrehungskontakt vorzusehen, der die jeweilige Drehzahl zu ermitteln gestattet, und
2) einen Kontakt, der von der Strecke ausgeht und selbsttätig den Beginn und das Ende eines Kurvenstückes kennzeichnet.

Immerhin lassen sich bereits jetzt aus den Torsiogrammen wichtige Schlüsse ziehen: Zunächst ist der Nachweis erbracht, daß tatsächlich Drehschwingungen eine Rolle spielen, und daß die Riffeln in unmittelbarem Zusammenhange mit ihnen stehen. Man erkennt dieses, wenn man die Anzahl Riffeln, über die ein Rad bei einer bestimmten Geschwindigkeit hinwegfährt, mit der im Torsiogramm erhaltenen Schwingungszahl vergleicht. Dieses war möglich, da bei einigen Torsiogrammen außer Sekundenkontakten noch Kontakte bei jeder neunten Umdrehung des Torsiographen gegeben wurden. Aus diesen läßt sich auf Grund des Übersetzungsverhältnisses zwischen Antriebscheibe auf der Triebachse und Riemenscheibe des Torsiographen die zu einer Umdrehung der Triebachse gehörende Strecke im Torsiogramm und außerdem die Wagengeschwindigkeit ermitteln.

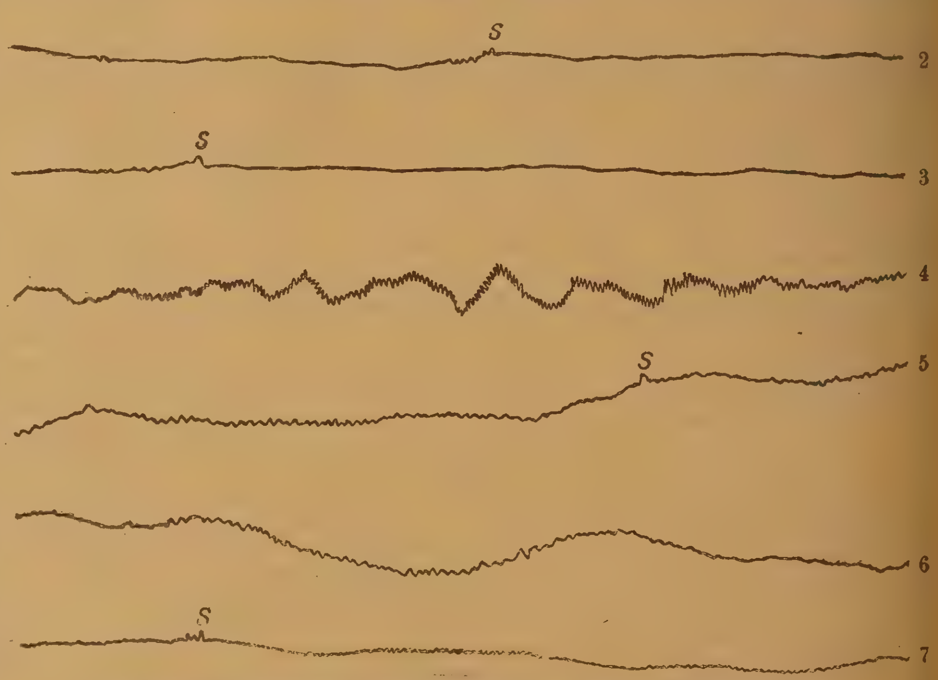


Abb. 2 bis 7. Torsiogramme an der Treibachse eines fahrenden Straßenbahnwagens, auf geraden Strecken (2 und 3) und in Krümmungen (4 bis 7) aufgenommen.

Sodann sieht man, daß Schienenstöße Anlaß zu derartigen Schwingungen geben.

Auffallend ist jedoch der Umstand, daß die ermittelte Schwingungszahl nicht allgemein mit der rechnerisch ermittelten Eigenschwingungszahl des am einen Rad festgehaltenen Radsatzes zusammenfällt. Bei den Schaulinien 5 und 6 sowie bei den meisten sonstigen hier nicht wiedergegebenen Torsiogrammen ist dies allerdings in genügender Annäherung der Fall. Man erhält im Durchschnitt 2800 bis 3600 Schwingungen in der Minute gegen den rechnerisch zu erwartenden Wert von 3100. Bei Abb. 4, die bei 15,8 km/h Geschwindigkeit aufgenommen ist, ist eine Auswertung etwas unsicher, weil hier die einzelnen Schwingungen zu nahe beieinander liegen. Bei Schaulinie 7 sind dagegen 5620 Schwingungen vorhanden, auch bei einigen andern Schaulinien finden sich Schwingungszahlen in ähnlicher Höhe.

Man kann zunächst lediglich Vermutungen über deren Entstehen aufstellen. So könnten z. B. beide Räder derselben Achse gleichzeitig ins Gleiten gekommen sein, in diesem Falle würde die Eigenfrequenz bedeutend höher liegen, oder aber es könnten für diesen Fall die Riffeln nicht die Folge, sondern die Ursache der Drehschwingungen sein: Die Riffeln könnten durch eine Reibdrehschwingung der Laufachse hervorgerufen sein und nun durch die so entstandenen Einsenkungen mit den auf dem Scheitelpunkt und in der Einsenkung der Riffel verschiedenen Reibungsbeiwert Drehschwingungen der Treibachse veranlassen. Diese Möglichkeit erscheint insofern näherliegend, weil die Eigenfrequenz des Laufradsatzes sich, wie oben erwähnt, zu 5790 Schwingungen i. d. Minute, also einem recht nahe bei 5620 liegenden Wert, ergab. Weitere Untersuchungen müssen gerade diesen Umstand berücksichtigen.

Als Abhilfemaßnahmen für den Fall, daß Drehschwingungen die Ursache der Riffelbildung sind, kommt zunächst eine Verlegung der Eigenfrequenz in Frage. Eine hohe Lage derselben würde man erreichen durch eine verstärkte Achse. In diesem Falle würden die Riffeln, sofern sie sich noch ausbilden, sehr nahe zusammenrücken. Eine tiefe Lage der Eigenfrequenz und damit bei etwaigem Auftreten von Riffeln eine große Riffellänge würde man bei dünnen Achsen bzw. bei Rädern von vergrößertem Schwungmoment erzielen. Jedenfalls sprechen rein theoretische Gründe dafür, daß man durch entsprechende Änderung der Eigenfrequenz das Auftreten derartiger Reibschwingungen nicht nur beeinflussen, sondern auch überhaupt vermeiden kann. Wie weit sich damit an ausgeführten Wagen Erfolge erzielen lassen, muß der Versuch entscheiden. Hier schafft aber die torsiographische Messung, die sich praktisch leicht durchführen läßt, rasch Klarheit. [A 2069]

Über die Gestaltung der Einzelteile von Dampflokomotiven.

Von Dipl.-Ing. Kurt Ewald, Hannover.

Es wird versucht, die Voraussetzungen zu einer ästhetisch befriedigenden Wirkung der Dampflokomotive zu ergründen und daraus allgemeine Richtlinien für die Gestaltung der hauptsächlichsten Einzelteile abzuleiten.

Formenschöne Lokomotiven sind niemals der Vorzug einer besonderen Zeitspanne gewesen. Der Begriff „formenschön" wandelt sich vielmehr von Jahr zu Jahr, denn auch bei technischen Gebilden ist das Schönheitsideal einem ständigen Wechsel unterworfen. Unsere Großväter erfreuten sich an kunstvoll profilierten Domhauben, glänzenden Namenschildern oder mit reichem Gitterwerk versehenen Radkästen. Die raschlebige Gegenwart findet wenig Muße, sich in das Wesen einzelner Teile zu versenken. Sie will den Gesamteindruck der Maschine auf sich wirken lassen. Dieser ist für unser modernes Empfinden angenehm, wenn er die wesentlichen Eigenheiten der Lokomotive erkennen läßt: vorwärtsstrebende Geschwindigkeit, ungeheure gebändigte Kraft und eine starre, dem zwangläufigen Pfad der Bahn entsprechende, zielbewußte Regelmäßigkeit. Der Eindruck dieser Eigenschaften wird erweckt durch Betonung der wagerechten Linie; durch Hervorheben des Kessels als Kraftträgers und harmonisch zu ihm abgestimmte, einen ruhigen Gesamtaufbau erzeugende Gestaltung aller übrigen Teile; durch Vermeiden jeglicher Verzierung oder gekünstelten Linien- und Flächenbildung. Je nach dem Verwendungszweck der Lokomotive ist die eine oder die andere Richtlinie bevorzugt zu verfolgen. Daß technische Zweckmäßigkeit eine vierte, unbedingt notwendige Voraussetzung für eine „schöne" Maschine bildet, ist selbstverständlich[1]); ihr wird nach heutigen Begriffen durch gesunde konstruktive Durchbildung Genüge getan; die nahe Zukunft mag auch eine ästhetische Auswirkung der wirtschaftlichen Fertigung kennen.

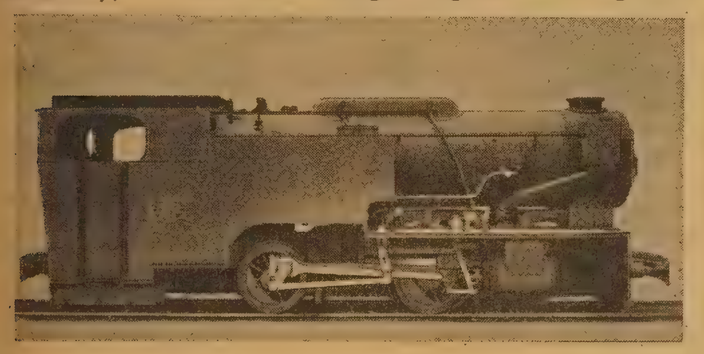


Abb. 1. Abraumlokomotive.

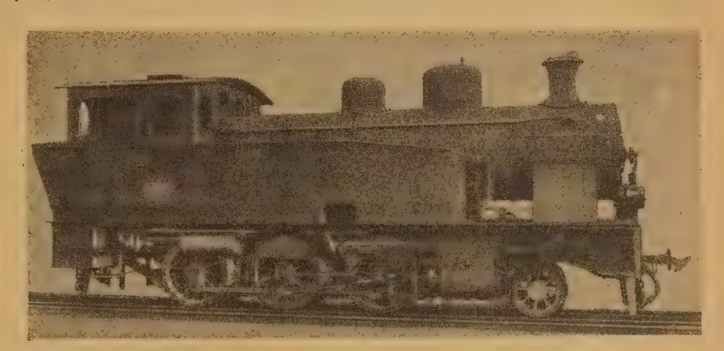


Abb. 2. Kleinbahnlokomotive.

Die Einzelteile wirken durch ihre Anordnung zueinander[2]) wie durch ihre eigene Formgebung. Ihre Gestaltung muß sich den Forderungen des Gesamtaufbaues unterordnen. Die Einzelteile müssen so durchgebildet sein, daß sie in ihrer Gesamtheit den von der Lokomotive erwarteten Eindruck hervorrufen. Sie können demnach ästhetisch einwandfrei sein, ohne an und für sich als schön gelten zu müssen.

Der Kessel muß hoch und frei liegen. Für den Langkessel ist die zylindrische Form gegeben; ein schwach nach vorn verjüngter Kesselschuß erhöht den Eindruck der vorwärtsstrebenden Geschwindigkeit und kann unter Umständen eine sehr gute Wirkung hervorrufen (Abb. 6). Für Güterzug- und Gebirgslokomotiven empfehlen sich kurze, gedrungen gebaute Kessel, deren wuchtige Masse die Größe der erzeugten Zugkraft ahnen läßt. Zu lange Kessel, wie sie zuweilen bei starken Schmalspurlokomotiven (2 C 1-Schnellzuglokomotive der holländischen Staatsbahnen auf Java) oder bei normalspurigen Lokomotiven mit geringem Achsdruck anzutreffen sind (siamesische E-Güterzuglokomotive), wirken unschön. Bei amerikanischen Riesenlokomotiven wird dieser Nachteil durch den überragenden ästhetischen Gesichtspunkt der Massenwirkung ausgeglichen.

Der Stehkessel mit dem zugehörigen Aschkasten befriedigt das Auge in fast jeder Form, die an neuzeitlichen Lokomotiven üblich ist — sofern man von einigen amerikanischen Ausführungen absieht, bei denen sich die Decke des Hinterkessels nach dem Führerhaus zu neigt. Erscheint der Stehkessel als unmittelbare Fortsetzung des Langkessels, so trägt er zu ruhigem Gesamtaufbau bei; die Ausbildung nach Belpaire oder eine leichte Überhöhung gegenüber dem Langkessel geben eine leise Betonung, die dem Stehkessel als Sitz der Kraftquelle zusteht (die Lokomotiven aus den ersten Jahrzehnten des Eisenbahnwesens krankten an einer aufdringlichen Verwirklichung dieses an sich guten Gedankens). Eine gleiche Wirkung übt die breite, über dem Rahmen liegende Feuerbüchse aus (Abb. 3, 4 und 6); sie hat dem eingezogenen, zwischen dem Rahmen befindlichen Stehkessel gegenüber (Abb. 1, 2, 5 und 7) den Vorzug, daß ihre Umrisse sichtbar sind, mithin die technisch zweckmäßige Durchbildung dieses wichtigen Konstruktionsgliedes dem Auge unverhüllt entgegentritt.

Die Rauchkammer darf nicht zu kurz sein, da anderenfalls die wuchtige Wirkung des Kessels durch weit vorstehenden Rahmen oder vorgeschobene Zylinder abgeschwächt werden kann. Sie soll sich unmittelbar an die Bekleidung des Langkessels anschließen; plötzliche Querschnittänderungen — wie sie die verstärkte Rauchkammer preußischer oder die eingezogene Rauchkammer österreichischer oder spanischer Lokomotiven bedingt — wirken unruhig. — Die Rauchkammertür muß sich wölben gleich einer Brust, die sich dem Gegner entgegenstemmt. Ihre Ausbildung als Windkegel wirkt gut, falls der Gesamtaufbau der Lokomotive entsprechend wuchtig gestaltet ist. Der Zweck des Windkegels und damit sein ästhetischer Reiz werden hinfällig, wenn seine Spitze durch eine vorgesetzte Laterne gebrochen wird (bayerische 2 C 1-Schnellzuglokomotive).

Von besonderer, oftmals ausschlaggebender Bedeutung für das Aussehen der Lokomotive sind die auf dem Kessel befindlichen Aufbauten. Sie wirken in der Regel um so günstiger, je niedriger sie gehalten sind, was der Forderung einer hohen Kessellage glücklich entgegenkommt. Kastenförmige Aufbauten stimmen wenig zur Rundung des Kessels. Eine gute Ausnahme bilden sattelförmige Sandkästen, wie sie an deutschen und amerikanischen Lokomotiven Verwendung gefunden haben; sie schmiegen sich dem Kreisrund des Kessels gut an und erscheinen somit trotz ihrer ebenen Seitenwände organisch mit ihm verwachsen. — Der Dampfdom soll eine völlig schlichte Haube mit nur leicht gewölbter Decke erhalten. Jede Profilierung ist als unnötiger Zierrat zu verwerfen. An den Dom angebaute Sicherheitsventile, die besonders bei österreichischen Lokomotiven gebräuchlich sind, wirken unruhig. — Ob Dampfdom und Sandkasten unter einer Bekleidung verborgen oder getrennt angeordnet werden sollen, ist ohne grundsätzliche Bedeutung. Beide Möglichkeiten können gute Wirkungen erzielen (Abb. 1 und 2); die gemeinsame Haube darf jedoch weder durch zu große Höhe drückend auf dem Kessel lasten (1 C-Lokomotive der Bagdadbahn), noch durch zu geringe Länge unharmonisch erscheinen (bayerische D + D-Tenderlokomotive). Zwei Dampfdome, die zur Vergrößerung des Dampfraumes durch ein Rohr verbunden sind, befriedigen das Auge nie.

Die Gestaltung des Schornsteines muß dem feinen Gefühl des Konstrukteurs überlassen bleiben. Für fast jede Stilart lassen sich Beispiele guter Durchbildung finden — abgesehen etwa von den viereckigen oder nach oben sich verjüngenden Schornsteinen älterer belgischer Lokomotiven. Eine Kappe an der Vorderseite des Schornsteines zur Erhöhung der Saugwirkung widerspricht der Forderung eines ruhigen Gesamtaufbaues. Sichtbare Funkenfänger bedürfen besonderer Sorgfalt; solche, die eine birnen- oder stark kegelförmige Gestalt des Schornsteines bedingen oder sich wie ein Kragen um den Schornsteinhals herumlegen (Schweden), genügen ästhetischen Ansprüchen in keiner Weise; am ehesten ist dies beim Funkenfänger von Rihosek der Fall, der als zylindrischer Ring den Schornsteinkopf umfaßt und bei Lokomotiven mit hoher Zugkraft und geringer Geschwindigkeit den wuchtigen Eindruck erhöhen kann, ohne das „schnittige" Aussehen der Maschine zu stören.

---

[1]) Dieser Grundsatz gilt auch für die Darstellung technischer Schöpfungen in der bildenden Kunst. Überschreitet die künstlerische Freiheit die Grenze zum technisch Unwirklichen oder gar Unmöglichen, so ist die Gefahr einer unbefriedigenden Wirkung des Kunstwerkes gegeben — eine Tatsache, die leider in der Kunst wie in der künstlerischen Reklame nicht immer beachtet wird.

[2]) Vergl. Lübon, Formenschönheit im Lokomotivbau, Maschinenbau/Gestaltung Bd. 2 (1922/23) Heft 2/3.

Triebwerk und Steuerung sind das belebende Element der Lokomotive; ihr Reiz liegt darin, daß sie den Weg der Kräfte sinnfällig vor Augen führen, das technisch Zweckmäßige ihrer Konstruktion mithin klar erkennen lassen. Als Regel dürfte daher gelten, Triebwerk und Steuerung sichtbar anzuordnen. Damit ist nicht gesagt, daß die verdeckte Anordnung zu verwerfen sei; sie gibt der Maschine ein äußerst glattes und ruhiges Gepräge, wofür besonders englische Ausführungen als gute Beispiele zu nennen sind. Einen guten Mittelweg bietet die sichtbare Anordnung des Triebwerks bei innenliegender Steuerung. Widersinnig ist jedoch der Gedanke, das Triebwerk unsichtbar anzuordnen, die Steuerung aber — das unwesentlichere Organ — oder Teile davon durch sichtbare Lage hervorzuheben, wie es bei italienischen und schwedischen Lokomotiven geschehen ist.

Die ästhetische Wirkung von Steuerung und Triebwerk ist hauptsächlich von der Lage der Stangen abhängig. Diese soll möglichst wagerecht oder nur leicht geneigt sein, was sich mit der Heusinger-Steuerung am besten erreichen läßt. Der Schränkungswinkel der Schwingenstange darf nicht zu groß genommen werden; bayerische, im übrigen durchaus formenschöne Lokomotiven leiden vielfach an diesem Nachteil.

Erst in zweiter Linie braucht die Einzelausführung der Triebwerk- und Steuerungsteile berücksichtigt zu werden. Diese sind kräftig, jedoch nicht plump und schwerfällig zu gestalten. Geschlossene Stangenköpfe sind einwandfreier als offene, einschienige Kreuzköpfe besser als zweigleisige (Abb. 3 und 6). Übermäßig lange Gleitbahnen und Kolbenstangen, die zwischen Zylinder und Kreuzkopf besonders gestützt werden müssen (bulgarische E- und F-Lokomotiven), erscheinen als Notbehelf; gekrümmte Voreilhebel (Österreich) widersprechen der strengen Regelmäßigkeit der übrigen Teile.

Der Dampfzylinder muß möglichst wagerecht liegen und seiner Bedeutung gemäß stark betont werden; es ist daher zweckmäßig, Zylinder- und Schieberkasten als einheitliches Ganzes darzustellen, nicht aber den Schieberkasten zwischen dem Rahmen oder unter dem Laufblech zu verbergen. Bei Anwendung von Kolbenschiebern erfährt das Zylindergußstück eine durch das Bekleidungsblech ersichtliche Begrenzung von höchster ästhetischer Wirkung.


Abb. 4. Schnellzuglokomotive der Orientalischen Eisenbahnen.

Die Zylindergußstücke oder die starken Rahmenversteifungen zwischen den Zylindern bilden die natürliche Grundlage für den vorderen Kesselträger. Entsprechend dem Bestreben, den Kräftefluß und damit die technische Zweckmäßigkeit erkennen zu lassen, muß auf das Herausarbeiten dieser Kesselstütze besonderer Wert gelegt werden. Die Amerikaner bieten die Lagerung der Rauchkammer dem Auge unverhüllt dar, was ohne Zweifel die ästhetisch einwandfreieste Lösung darstellt; die dicken, kurzen Dampfrohre, die von den Schieberkästen aus schräg nach oben zur Kesselmitte hinstreben, erhöhen den Eindruck des Stützens auch gegen seitlich wirkende Kräfte (Abb. 6). Diese amerikanische Bauweise ist die einzige, welche das Dampfrohr als Hilfsmittel formenschöner Gestaltung verwendet. Bei Lokomotiven europäischen Ursprunges behilft man sich mit einer Blechmaske, hinter welcher die Rohre versteckt sind, und die den Eindruck einer Kesselstütze hervorruft. Es ist einleuchtend, daß diese Maske unmittelbar über dem Zylinder und in gehöriger Größe ausgeführt werden muß. Die Wirkung einer gut durchgebildeten Maske wird erhöht, wenn die Rauchkammer um ein angemessenes Stück frei vorsteht und durch kräftige Streben gegen die Pufferbohle abgesteift ist (1 D-Güterzuglokomotive Gattung G 8² der Deutschen Reichbahn).

Für die Räder sollen möglichst viele Speichen vorgesehen werden, wodurch der Eindruck des leichten Dahinrollens hervorgerufen wird. Blank gedrehte oder weiß gestrichene Radreifen (Württemberg, Rußland, Amerika) verstärken durch Betonen des Kreisrundes diesen Eindruck, ihr ästhetischer Reiz kann unter Umständen den Nachteil speichenloser Räder aufheben (Abb. 6). Gegengewichte beeinträchtigen die Wirkung des rollenden Rades um so weniger, je mehr sie sich dem Rund des Radreifens anschmiegen; sie sind deshalb am besten sichelförmig zu gestalten (Abb. 4 und 6).

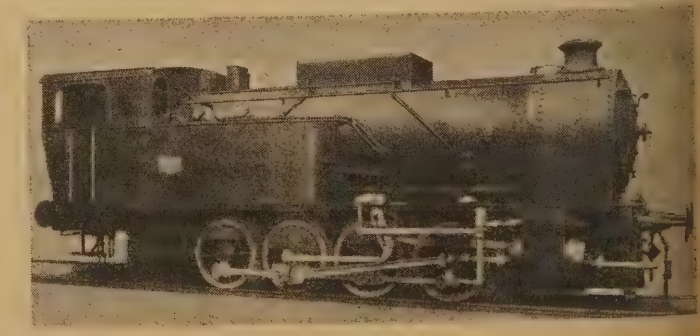
Ob Barren- oder Plattenrahmen der Forderung der Formenschönheit besser genügen, ist eine müßige Frage. Beide ermöglichen einen guten Gesamtaufbau; der Plattenrahmen gibt eine geschlossene, ruhig wirkende Masse, der Barrenrahmen stellt sinnfällig das Tragen des Kessels dar und ermöglicht dessen freie und betonte Lage. Außenrahmen sind nicht zu empfehlen, da sie der Maschine ein schleichendes Aussehen geben. Sie sind lediglich für Laufachs-Drehgestelle mit sichtbarer Abfederung berechtigt, weil sie in diesem Falle den Zweck der Laufachse — das Tragen — deutlich vor Augen führen.


Abb. 3. Güterzuglokomotive der Holländischen Staatsbahn auf Java.

Führerhaus, Laufblech, Wasser- und Kohlenkästen sind konstruktiv geringen Beschränkungen unterworfen und daher in den mannigfaltigsten Spielarten ausgeführt worden.

Die formenschöne Gestaltung des Führerhauses ist an keine festen Grundsätze gebunden. Bestimmte Regeln lassen sich nur für einige nebensächliche Teile aufstellen: Die Fenster der Seitenwände sollen die Form eines Rechteckes mit abgerundeten Ecken erhalten; scharfe Ecken wirken hart, bogenförmige obere Fensterleisten stehen im Widerspruch zur geforderten straffen Linienführung der Maschine (Blankenburger 1 E 1-Tenderlokomotive). Fensterkreuze sind ihres unruhigen Aussehens wegen zu vermeiden. — Die Führerhausseitenwand muß sich über einer durchgehenden wagerechten Linie erheben, da jede Stufenbildung ihrer unteren Begrenzung unruhig wirkt. — Die Stirnwand darf nur dann als Windschneide ausgebildet werden, wenn der Gesamtaufbau dies angezeigt erscheinen läßt. Lüftungsbauten, die kastenförmig auf dem Dach des Führerhauses sitzen, beunruhigen den Umriß der Maschine; als einwandfrei können solche bezeichnet werden, die sich nach dem Muster der Deutschen Reichsbahn (Preußen) über die ganze Länge des Daches hinziehen (Abb. 1).

Das Laufblech bildet für das Auge die Grenze zwischen Kessel und Dampfmaschine und ist aus diesem Grunde von höchster Bedeutung. Seine Höhenlage spielt nicht die ausschlaggebende Rolle, die man ihr oft zuspricht; es gibt formenschöne Lokomotiven mit tiefliegendem Laufblech und Radkästen (Abb. 7) und solche, deren Laufblech über den Rädern verläuft (Abb. 2 bis 6). Wagerechte, in einer Linie sich erstreckende Führung ist die einzige, aber auch unumgänglich notwendige Bedingung für die Gestaltung des Laufbleches (Abb. 2 und 7); stufenförmige Führung gibt ein unruhiges Bild. Liegt das Laufblech nicht in Höhe des Führerhausbodens, so soll es stumpf an das Führerhaus anstoßen (Abb. 3, 4 und 6). — Der Übergang zur vorderen


Abb. 5. Hüttenlokomotive.

ufferplattform ist in diesem Falle zumeist schwierig zu lösen. 'reppenbildung muß vermieden werden (preußische S_3-Lokomo-ive). Wird das Laufblech über dem Zylinder glatt abgebrochen nd unmittelbar am Zylinder der Belag für die Pufferbohle an-esetzt, so ist ohne Frage die einwandfreieste Lösung gefunden, die ugleich eine gute Gestaltung des Rauchkammerträgers ermöglicht Abb. 3, 4, 6). — Ein Geländer, welches das Laufblech umsäumt Rußland), verleiht der Maschine ein gemütliches, dem modernen

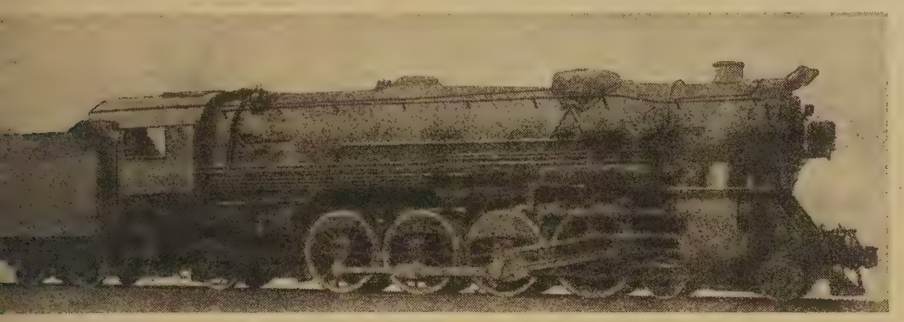


Abb. 6. Personenzuglokomotive der Chasepeake- & Ohio-Bahn.

Empfinden widerstrebendes Gepräge. — Radkästen, die bei tief-iegendem Laufblech notwendig werden, erhalten am besten die 'orm von Kreisabschnitten und sollen von schlichten Flächen egrenzt sein (Abb. 7).

Die Wasser- und Kohlenkasten von Tenderlokomo-iven müssen so gestaltet sein, daß sie wohl den massigen Ein-lruck der Maschine zu heben geeignet sind, auf keinen Fall aber lie Wirkung des Kessels beeinträchtigen. Diese Gefahr liegt vor ei sattelförmig auf dem Kessel gelagerten Wasserkasten und bei eitlichen Wasserkasten, wenn sie zu hoch ge-aut oder zu weit nach vorn durchgeführt sind. Der Boden des seitlichen Wasserkastens sollte ich grundsätzlich an die untere Begrenzung les Führerhauses anschließen und nach vorn m Laufblech seine unmittelbare Fortsetzung inden (Abb. 2 und 5). Das Laufblech unter-alb des Wasserkastens gesondert zu führen, mag konstruktiv verführerisch sein, ist jedoch seiner nruhigen Wirkung wegen durchaus zu verwer-en. — Ein hinter dem Führerhaus vorgesehener Kohlenbunker ermöglicht fast stets einen guten Abschluß der Maschine (Abb. 2). Fehlt der intere Kohlenkasten, so ist der untere Teil der Führerhausrückwand leicht nach vorn einzu-iehen (Abb. 1). — Besondere Beachtung ver-lient das Füllrohr; ragt es als rundes Rohr aus lem Wasserkasten heraus, so vermag es das Aussehen einer sonst gut durchgebildeten Loko-notive zu schädigen; nur ein Füllrohr mit rechteckigem Quer-chnitt, welches sich dicht an die Kesselrundung anschmiegt, kann ls formenschön angesprochen werden (preußische 1 B 1-Tender-okomotive Gattung T 5).

Zubehör- und Ausrüstungsteile — wie Zug- und toßvorrichtungen, Armaturen, Kuhfänger, Dampfpfeifen, Sicher-eitsventile, Laternen, Vorwärmer, Pumpen, Luft- und Gasbehäl-er — haben sich infolge durchgreifender Typisierung zu Gebilden ntwickelt, die wegen ihrer höchsten technischen Zweckmäßigkeit ls durchaus formenschön zu bezeichnen sind. Es ist nur auf hre gute Einordnung in das Gesamtbild Rücksicht zu nehmen, was besonders bei nachträglichen Anbauten beachtet werden muß. Kopflaternen mit Scheinwerfer sollten zylindrisch gestaltet sein (Abb. 6); kastenförmige Gehäuse (Rußland) erscheinen plump und schwerfällig. Rohrleitungen, Züge und Handstangen müssen streng wagerecht geführt werden (Abb. 6). Schilder sind flächige Gebilde und können nur dann zu einem ruhigen Ge-samteindruck beitragen, wenn sie größeren Flächen zugeordnet sind; es ist daher unrichtig, sie nach Art der anatolischen oder der spanischen MZA-Bahn an den Schorn-stein anzuheften. Der Anstrich der Lokomotive darf in gewissem Sinne ebenfalls als „Einzel-teil" angesehen werden. Aus der Forderung der Betonung der wagerechten Linie folgt, daß das Hervorheben der Kesselbänder durch auffallende Farben wie das Absetzen der Flächen durch Zierstriche nur mit besonderer Vorsicht erfolgen darf; beides kann eine unzulässige Betonung der Senkrechten bewirken.

Der Tender soll durch die Wucht seiner Masse den Eindruck der Lokomotive wirkungs-voll ergänzen und darf dieser gegenüber nicht zu klein erscheinen. Erst in zweiter Linie braucht Rücksicht auf ruhige Formgebung ge-nommen zu werden; es können daher auch Ten-der mit an und für sich unruhigen Flächen — kastenförmigen An- und Aufbauten, trogför-migen oder zylindrischen Wasserbehältern mit aufgesetzten Kohlenbunkern — ästhetisch einwandfrei sein.

Es ist unmöglich, an dieser Stelle auf die formenschöne Gestaltung auch kleinerer und kleinster Einzelteile von Loko-motiven einzugehen, geschweige denn alle Spielarten der Aus-führung kritisch zu würdigen. Die gebotenen Beispiele lassen jedoch den Sinn der Grundgedanken klar erkennen; sie berech-tigen zu dem Schlusse, daß sich die Einzelteile einer jeden Lokomotive trotz gesetzlicher und kon-



Abb. 7. Schnellzuglokomotive der Deutschen Reichsbahn.

struktiver Schwierigkeiten einwandfrei ge-stalten lassen, sofern dem Wort „einwandfrei" ein an-gemessener, persönliche Ansichten berücksichtigender Spielraum zugestanden wird. Daß diese Behauptung nicht zu kühn ist, beweisen die in den Abb. 1 bis 7 dargestellten Beispiele formen-schön durchgebildeter, unter den verschiedensten Betriebsbedin-gungen arbeitender Lokomotiven, beweist vor allem die Tatsache, daß die bayerischen, badischen, englischen und nordamerikani-schen Lokomotiven der beiden letzten Jahrzehnte wie die jüng-sten Lokomotivgattungen der Deutschen Reichsbahn fast durch-weg der Forderung formenschöner Gestaltung entsprechen. [A 195]

Schwere Gleich- und Wechselstrom-Lokomotiven für die Pennsylvaniabahn.

Diese Bahn hat drei neue 180 t-Versuchslokomotiven in Dienst ge-ellt, von denen eine für Güterzüge mit Einphasenwechselstrom, die bei-en andern für Personenzüge im Vorort- und Tunnelbetrieb am Hudson-ver mit Gleichstrom betrieben werden[1]). Die Güterzuglokomotive mit er Achsfolge 1 B B 1 ist mit vier Motoren von je 760 PS Dauerleistung sgerüstet, die paarweise über Zahnradgetriebe mit 30 : 118 Übersetzung, lindwelle und Kuppelstange die beiden Triebachsen antreiben; die öchstgeschwindigkeit beträgt 56 km/h. Die Gleichstromlokomotiven ufen bei 50 : 98 Übersetzung mit 112 km/h Höchstgeschwindigkeit, sonst nd sie von gleicher Bauart wie die für Güterzugförderung. In der ektrischen Ausrüstung sind sie hauptsächlich nur darin verschieden, ıß an Stelle der Transformatoren Stufenwiderstände für das Anfahren ngebaut und statt der Parallelogramm-Stromabnehmer Gleitschuhe für e Stromschiene vorgesehen sind. Zwischen Motoranker und Ritzel nd Federn eingeschaltet, und die großen Zahnräder der Blindwelle nd ebenfalls nachgiebig ausgebildet; die Federn sind ohne Anfang-ıannung tangential in einen innerhalb des Zahnkranzes sitzenden Zwischenkranz eingesetzt und sollen für alle betriebmäßigen Dreh-momente wirksam bleiben. Der Hauptrahmen der Lokomotive bildet eine Wiege, in die der Motor eingebettet ist, während die Motorlager im Seitenrahmen unabhängig davon befestigt sind. Eine andre Neue-rung bildet der künstlich gekühlte Öltransformator, der federnd auf dem Hauptrahmen ruht und dessen Gehäuseoberteil mit dem Dach des Führerhauses derart verbunden ist, daß der Transformatorkern durch Heben des Daches freigelegt werden kann. Drei Motorgebläse sind für Ölumlauf und Motorkühlluft vorgesehen.

Die Schalteinrichtung besteht aus einem Hauptschalter, einem Um-kehrschalter, dem Fahrschalter mit zwei durch Druckluft betätigten Ein-heitsstufenschaltern für 1500 A (bei Wechselstrom), den Schutzdrossel-spulen und Auslösvorrichtungen. Die Dauerzugkraft beträgt 22,5 t bei 37 km/h, die Stundenzugkraft 28 t bei 32 km/h; mit etwa 39 km/h können 2150 t auf der Höchststeigung befördert werden. Von den Abmessungen seien genannt: Triebraddurchmesser 2 m, Radstand der äußeren Treib-räder 6,8 m, Gesamtradstand 16,75 m, Rahmenlänge 19,4 m, Höhe über S.-O. bei herabgelassenem Stromabnehmer 5 m. Die Gleichstromloko-motiven haben die gleichen Abmessungen und werden mit 6000 V auf der Hudson-Tunnelstrecke betrieben. Die Dauerstromstärke der Ein-heitsschalter beträgt bei ihnen 3000 A. [M 93] Rb.

[1]) Electric Railway Journal Bd. 63 (1924) S. 133.

Wasser- und Dampfstrahl-Luftpumpen für Oberflächenkondensatoren insbesondere auf Schiffen.

In Forschungsheft 253 und in Z. Bd. 66 (1922) S. 723 hat Dr. Hoefer über umfangreiche amtliche Versuche an Kondensations-Luftpumpen berichtet, wobei er zu dem Ergebnis gekommen ist, daß die von ihm entworfenen Dampfstrahlsauger ohne Zwischenkühler anderen Luftpumpen überlegen sind. In Z. Bd. 65 (1921) S. 199 hat Hoefer ferner über den Dampfstrahlsauger mit Zwischenkühler berichtet, von dem er sagt, daß sein Dampfverbrauch etwa 40 vH geringer ist als der eines gleichwertigen Strahlsaugers ohne Zwischenkühler. Demgegenüber sei sein Gewicht achtmal und sein Raumbedarf fünfmal so groß wie der des Strahlsaugers ohne Zwischenkühler. Von anderer Seite werden diese Angaben als zu hoch bezeichnet.

In einem Aufsatz von Blaum (Z. Bd. 67 (1923) S. 956) und einem von Prof. F. L. Richter (Z. Bd. 67 (1923) S. 1042) wird demgegenüber die Überlegenheit des Wasserstrahlsaugers von Müller behauptet und ebenfalls durch Versuche belegt.

Auf die Aufsätze von Blaum und Richter sind uns Zuschriften von Vertretern der Dampfstrahlsauger mit und ohne Zwischenkühler, nämlich von den Herren Dr.-Ing. Heuser, bei der Maschinenbau-A.-G. Balcke, Bochum, Dr. Hoefer und Oberingenieur Kapferer zugegangen, die die Ausführungen von Blaum und Richter beanstanden.

Blaum beschreibt die Wasserstrahlluftpumpe, Bauart Müller, die zum ersten Male auf einem Seeschiff eingebaut worden ist, nachdem sie sich in den letzten zwölf Jahren bei Landanlagen bewährt hat, und nennt die folgenden Vorzüge des Wasserstrahlsaugers:

1. einfacher Aufbau und Betrieb,
2. Fehlen von Teilen, die sich rasch abnutzen und hierdurch den Wirkungsgrad des Wasserstrahlsaugers herabdrücken könnten,
3. Regelung der Dampfmaschine durch die Strahlwasserumlaufpumpe bei gemeinsamem Antrieb der Kondensat- und Strahlwasserpumpe,
4. physikalische Überlegenheit der Wasserstrahlpumpe über den Dampfstrahlsauger, weil sich nach Blaums Ansicht bei jener die Luft am Wasserstrahl stark abkühlt, indem sich ihr Dampfgehalt am Wasserstrahl niederschlägt, während beim Dampfstrahlsauger eher eine Erwärmung des Dampfluftgemisches stattfindet.
5. Blaum schließt hieraus, daß der Kondensator beim Dampfstrahlsauger größer sein muß als beim Wasserstrahlsauger, und daß dieser dem Dampfstrahlsauger wirtschaftlich überlegen ist.

Die Blaumsche Ansicht stützt sich auf die genannten Versuche von Prof. Richter, Chemnitz, der die Luftteilspannung (Spannungsunterschied zwischen der Dampfspannung des Strahlwassers und der Ansaugspannung) als eine für die Berechnung der Wasserstrahlapparate geeignete Grundlage bezeichnet. Professor Richter kommt in seinem Versuchsbericht zu dem Schluß, daß die Eigenschaften der Luftpumpen nur im Zusammenhang mit den Vorgängen im Oberflächenkondensator betrachtet werden können. Während nun die Vertreter des Wasserstrahlsaugers der Ansicht sind, daß die Kondensatorluft beim Wasserstrahlsauger durch den Wasserstrahl gekühlt und damit auf ein förderfähiges Volumen herabgedrückt wird, was nach ihrer Ansicht beim Dampfstrahl nicht in gleichem Maße der Fall ist, behaupten die Vertreter des Dampfstrahlsaugers, daß die Unterkühlung im Wasserstrahlsauger wegen der Kürze der Zeit, in der sich beide Medien berühren, nicht von Bedeutung sei. Eine Unterkühlung finde viel eher im Dampfstrahlsauger statt. Prof. Richter wendet als Vertreter der Wasserstrahlpumpe hiergegen ein, daß für den Dampfstrahl die Versuche Höfers beweisen, daß keine Kondensation eintritt, während für den Wasserstrahl seine eigenen Versuche die Tatsache der Kondensation beweisen. Steht sich in diesem Punkt also Ansicht gegen Ansicht, so hat der Zuschriftenwechsel in einem anderen Punkte zu einer Klärung geführt: Beide Parteien sind sich darin einig, daß bei geringer Abkühlung der Luft im Oberflächenkondensator der Wasserstrahlsauger, bei höherer der Dampfstrahlsauger wirtschaftlich überlegen ist.

Unter welchen Umständen beide Luftpumpen gleichwertig sind und welche Unterkühlungen im Kondensator tatsächlich stattfinden, darüber gehen die Meinungen weit auseinander. Schon auf der Seite der Vertreter des Dampfstrahlsaugers herrscht keine Einheitlichkeit. So gibt Kapferer an, daß der Dampfstrahlsauger bei 0,04 kg/cm² Spannung im Kondensator 150 vH mehr leiste als der Wasserstrahlsauger, während Hoefer und Richter finden, daß beide Pumpenarten je nach der Abkühlung im Kondensator einander gleichwertig oder überlegen sind.

Die ganze Frage ist hiernach, wie schon gesagt, eine Frage der Abkühlung der Luft im Kondensator.

Es sollen nun die einzelnen Herren selbst zu Worte kommen.

Die Schriftleitung.

Zuschrift von Dr.-Ing. Heuser.

Der Aufsatz von Herrn R. Blaum in Bd. 67 (1923) S. 956 macht über die Dampfstrahlluftpumpe irreführende Angaben, die nicht unwidersprochen bleiben können. Ich stelle folgendes fest:

1. Die Wasserstrahl-Luftpumpenanlage ist nicht einfacher als eine Dampfstrahl-Luftpumpenanlage, wie ein Vergleich an Bord der beiden sonst gleichen Schiffe „Usambara“ (Wasserstrahlanlage) und „Wangoni“ (Dampfstrahlanlage) augenscheinlich zeigt. Außer der Kondensatpumpe, die beiden Anlagen gemeinsam ist, hat
   die Wasserstrahlanlage einen Strahlapparat, eine Aufschlagwasser-Kreiselpumpe, einen Luftabscheider und einen Röhrenkühler,
   die Dampfstrahlanlage einen Strahlapparat mit Röhren-Zwischenkondensator.

Der Abdampf der Dampfstrahlpumpe wird in einem zweiten Röhrenkühler niedergeschlagen, um seine Wärme wiederzugewinnen. Ein gleicher ist aber für die Wasserstrahlpumpe (ob für sie allein oder gemeinsam mit anderen Maschinen) ebenfalls nötig, wenn auch im Aufsatz nicht besonders genannt.

2. Die Wasserstrahlanlage besitzt im Gegensatz zur Dampfstrahlanlage sehr wohl Teile, die der Abnützung unterliegen, nämlich die umlaufende Aufschlagwasserpumpe. Eine Wasserstrahldüse ist ebenfalls der Abnützung mehr unterworfen als eine Dampfstrahldüse. Beides wird der Dauerbetrieb schon zeigen.

3. Die Meinung, die Wasserstrahlpumpe sei der Dampfstrahlpumpe schon allein physikalisch überlegen, ist unrichtig. Sie beruht auf der durch nichts bewiesenen Annahme, der Wasserstrahl kühle die angesaugte Luft und verringere daher deren Volumen. Diese Annahme, der z. B. auch Dr. Hoefer in seiner bekannten vergleichenden Untersuchung über Kondensationsluftpumpen[1]) die Berechtigung bestreitet, ist angesichts der überaus kurzen Zeit, in der beide Medien vor Beginn des Verdichtungsvorganges miteinander in Berührung sind (und nur während dieser Zeit könnte die angenommene Tatsache die ihr zugeschriebene Wirkung haben!) sogar sehr unwahrscheinlich.

4. Ich habe mich mit diesen physikalischen Verhältnissen der beiden Pumpenarten in einem zusammen mit K. Finzel verfaßten Aufsatz „Dampfstrahlpumpe und Wasserstrahlpumpe bei Kondensationsanlagen“ in Heft 51/52 Bd. 24 der Zeitschrift „Schiffbau“ befaßt, und habe dort, um ganz sicher zu gehen, sogar die Annahme gemacht, die Kühlung durch den Wasserstrahl fände wirklich statt. Trotzdem zeigt eine genaue Rechnung mit weiteren vorsichtigen, d. h. für die Wasserstrahlpumpe günstigen, für die Dampfstrahlpumpe ungünstigen Annahmen die absolute Überlegenheit der Dampfstrahlpumpe in Bezug auf die mit gleichem Arbeitsdampfverbrauch erzielbare Luftleere. Diese Überlegenheit wird praktisch bei Abnahmeversuchen immer wieder voll bestätigt.

5. Die Bemerkung, daß der Dampfstrahl die Luft „eher erwärme“, beruht auf der ganz irrtümlichen Annahme, ein „Dampf“strahl könne nur heiß sein. Durch die Expansion in der Düse nimmt der Dampfstrahl eine so tiefe Temperatur an, wie sie seiner Spannung entspricht. Da diese wenigstens so weit getrieben werden muß, als der Kondensatorspannung entspricht, ergibt sich, daß seine Temperatur gleich oder niedriger als die der Luft ist. Die Expansion in Dampfdüsen kann je nach Bedarf beliebig weit, selbst bis zu Spannungen, die Temperaturen unter 0 °C entsprechen, getrieben werden (Dampfstrahlkältemaschinen Z. Bd. 67 (1923) S. 857). Die Wasserstrahlpumpe ist also auch hiergegen im Nachteil, weil ihre Strahltemperatur von der Umgebung abhängig ist.

6. Demnach ist es auch nicht berechtigt, zu schließen, daß ein Kondensator für eine Dampfstrahlpumpenanlage eine größere Kühlfläche haben müsse als einer für eine Wasserstrahl-Pumpenanlage. Meine Firma hat die Kondensatoren nicht um das geringste vergrößert, seit sie Dampfstrahlpumpen verwendet. Gleichwohl sind die Luftleeren stets absolut und auch bezogen auf die der Warmwassertemperatur im Kondensator entsprechende theoretisch mögliche nicht niedriger als früher, wo sie jahrelang die Westighouse-Leblanc-Schleuderpumpe verwendete.

Fast 300 Landanlagen und über 40 deutsche Schiffe sind von meiner Firma mit Dampfstrahlpumpen ausgerüstet worden. Im Ausland ist die Anzahl der mit Dampfstrahlpumpen arbeitenden Bord- und Landanlagen noch ganz unvergleichlich größer.

Dr.-Ing. Heuser,
Obering. der Masch.-Bau-A.-G. Balcke.

Zuschrift von Dr.-Ing. Hoefer.

Von den Versuchen des Herrn Professor Richter, die größere Klarheit in ein bisher wenig erforschtes Gebiet bringen, habe ich mit größtem Interesse Kenntnis genommen. Die Gerechtigkeit erfordert es jedoch, auf einige Punkte hinzuweisen, die den Dampfstrahlsauger dem Wasserstrahlsauger gegenüber ungünstiger erscheinen lassen, als er es in Wirklichkeit ist.

1. Für 15 kg/PSh Dampfverbrauch der die Schleuderwasserpumpe antreibenden Turbine sind Druck und Temperatur des Frischdampfes nicht angegeben, und es muß angenommen werden, daß sich diese Zahl auf überhitzten Dampf bezieht, während der verglichene Dampfstrahlsauger mit Sattdampf von 11 at bei etwa 3 vH Feuchtigkeit und 1,1 at abs. Gegendruck betrieben worden ist. Hierfür muß für die Dampfturbine — selbst unter Berücksichtigung der größeren Leistung bei gleichzeitigem Antrieb der Kühlwasserpumpe — m. E. mit einem um etwa 25 vH höheren Dampfverbrauch gerechnet werden.

2. Die Strahlwassertemperatur wird 0,5 °C höher als die Kaltwassertemperatur angenommen. Dies mag zutreffen, wenn dem Strahlsauger dauernd Kaltwasser zufließt, nicht aber wenn das Strahlwasser wie bei Bordanlagen einen Kreislauf macht. Soll der in diesem Falle erforderliche Oberflächenkühler nicht eine zu große Fläche erhalten, so dürfte die Strahlwassertemperatur etwa 3 °C über der Kaltwassertemperatur liegen. Vor allem vermißt man aber einen Vergleich mit dem Dampfstrahlsauger mit Zwischenkühler, für den der Einfluß des Dampfgehaltes ebenfalls durch Versuche bestimmt worden ist (Z. Bd. 65 [1921] S. 199).

Unter Berücksichtigung des Gesagten ergibt sich — um bei der Darstellung von Professor Richter zu bleiben — statt Abb. 5 seiner Ver-

[1]) Forschungsheft 253.

öffentlichung die beigefügte Abb. 1. Für den Strahlsauger mit Zwischenkühler sind die Versuchspunkte durch Kreuze gekennzeichnet. Der Verlauf der Kurven kann dem der Kurven des gewöhnlichen Strahlsaugers entsprechend angenommen werden. Gleicher Dampfverbrauch von Wasser- und Dampfstrahl sind durch konzentrische Kreise hervorgehoben und die zusammengehörigen Punkte durch gerade Linien miteinander verbunden worden. Es ergibt sich, daß bei den von Herrn Professor Richter gewählten Zahlenbeispielen Wasserstrahlsauger und Dampfstrahlluftpumpe mit Zwischenkühler bei einer Unterkühlung der Luft von 2 bis 3,5 °C gleichen Dampfverbrauch haben. Beim Dampfstrahlsauger ohne Zwischenkühler liegt der gleiche Dampfverbrauch bei etwa 7 °C für den Wasserstrahlsauger mit geschlossenem Kreislauf und bei etwa 8,5 °C Unterkühlung der Luft für den mit Frischwasser betriebenen Wasserstrahlapparat. Jeweils bei geringerer Unterkühlung ist der Wasserstrahlsauger günstiger, bei stärkerer Unterkühlung die Dampfstrahlluftpumpe.

Hinsichtlich der Höhe der praktisch erreichbaren Unterkühlung trifft es nicht zu, daß 1 bis 3 °C gewöhnliche Werte sind und daß sich eine Unterkühlung von 10 °C mit der üblichen Bemessung von Oberflächenkondensatoren nicht erzielen läßt. Unterkühlungen von 1 bis 3 °C kommen tatsächlich selten vor, die unvermeidliche Abkühlung des Kondensates bringt in der Regel eine indirekte Abkühlung der Luft um 5 bis 8 °C mit sich, die keinen unverhältnismäßig großen Verbrauch an Kühlfläche erfordert. Nach mir vorliegenden Versuchsergebnissen kommen bei Oberflächenkondensatoren ohne besondere Maßnahmen Unterkühlungen von 15 bis 18 °C nicht selten vor. Bei Anwendung besonderer Mittel ist sogar eine Unterkühlung von über 30 °C festgestellt worden. Hieraus folgt weiter, daß der Dampfstrahlsauger mit Zwischenkühler dem Wasserstrahlsauger auf alle Fälle überlegen ist, während der gewöhnliche Dampfstrahlsauger durchschnittlich — namentlich bei Bordanlagen — gleichwertig ist, wenn man die an dem untersuchten Apparat gewonnenen Ergebnisse auf Wasserstrahlsauger im allgemeinen übertragen kann, was auch noch nicht sicher ist. Daß es jedenfalls praktisch vorkommende Verhältnisse gibt, bei denen die Wasserstrahlluftpumpe auch dem Dampfstrahlsauger ohne Zwischenkühler unterlegen ist, beweisen die von mir veröffentlichten Vergleichsversuche Nr. 4 und 5 Forschungsheft 253, S. 71. In diesem Falle hat die von einer Firma mit großen Erfahrungen auf diesem Gebiete gelieferte Wasserstrahlluftpumpe an demselben Kondensator bei Vollast geringere Luftleere ergeben als der Dampfstrahlsauger, obwohl dieser 20 vH weniger Dampfverbrauch hatte.

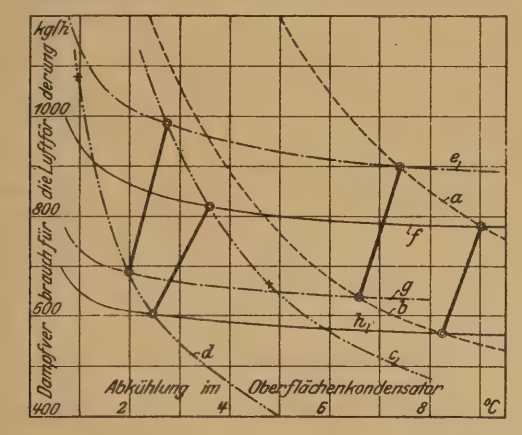


Abb. 1. Vergleich von Wasserstrahl- und Dampfstrahlsauger.

a Dampfstrahlsauger ohne Zwischenkühler . . . . . $p_c = 0{,}04$ at abs
b „ „ „ . . . . . $p_c = 0{,}07$ „ „
c „ mit „ . . . . . $p_c = 0{,}04$ „ „
d „ „ „ . . . . . $p_c = 0{,}07$ „ „
e Wasserstrahlsauger mit Kreislauf des Strahlwassers $p_c = 0{,}04$ „ „
„ „ Frischwasserbetrieb . . . . $p_c = 0{,}04$ „ „
g „ „ Kreislauf des Strahlwassers $p_c = 0{,}07$ „ „
h „ „ Frischwasserbetrieb . . . . $p_c = 0{,}07$ „ „

Damit werden auch die weiteren von Herrn Professor Richter gezogenen Schlußfolgerungen zu Ungunsten des Dampfstrahlsaugers hinfällig. Dies trifft namentlich für die Abdampfverwertung zu, da das Kondensat weit stärker als um 3 °C unterkühlt zu sein pflegt, so daß eine größere Abdampfmenge ausgenutzt werden kann. Auch ist nicht einzusehen, warum es zwecklos sein soll, das Speisewasser dem Rauchgasvorwärmer mit einer höheren Temperatur als 45 °C zuzuführen, da doch die Rauchgase Temperaturen von 300 °C und darüber haben.

Zu der von Herrn Prof. Richter gewählten Form der Darstellung in Abhängigkeit von der Abkühlung der Luft ist allgemein zu sagen, daß sie sehr große Unterschiede im Dampfverbrauch des einen oder anderen Strahlsaugers ergibt, während die Luftleeren bei gleichem Dampfverbrauch nicht erheblich voneinander abzuweichen brauchen, mit anderen Worten, daß diese Darstellung teilweise eine übertriebene Vorstellung von der Überlegenheit der einen oder anderen Bauart erweckt. Auch entspricht einer bestimmten Abkühlung der Luft bei verschiedener Luftleere ein verschiedener U n t e r s c h i e d an Luftleere, wie ohne weiteres aus den zu den Drücken gehörigen Sättigungstemperaturen folgt. Zudem wirkt Abb. 4 der Veröffentlichung trotz der verschiedenen Ordinatenmaßstäbe wegen des fehlenden Einflusses der Strahlwassertemperatur etwas irreführend, und wie groß dieser Einfluß namentlich bei höherer Luftleere ist, läßt die beigefügte Abbildung erkennen. Auch liefert m. E. Abb. 2 keinen Beweis dafür, daß sich die Luftteilspannungen der Abb. 4 für dampfhaltige Luft nicht mit der Strahlwassertemperatur ändern. Es erscheint daher zweifelhaft, ob die Versuchsergebnisse ohne weiteres auf eine Strahlwassertemperatur von 25,8 °C übertragen werden können. Leider ist ferner der Gebrauch von Abb. 4 bei Bestimmung der sich ergebenden Luftleere unbequem, weil man auf ein Probieren angewiesen ist. Es hätte sich ein übersichtlicherer und vollständigerer Vergleich ergeben, wenn Versuchsreihen bei gleichbleibender Ansaugetemperatur und veränderlichem Luftgewicht bei v e r s c h i e d e n e n Strahlwassertemperaturen gemacht worden wären.

Aus den gemachten Einwendungen folgt ebenso, daß die Behauptung von Herrn Direktor Blaum in Heft 39/40, daß der Dampfstrahlsauger entweder eine größere Kühlfläche des Kondensators erfordert oder eine schlechtere Luftleere liefert oder einen höheren Dampfverbrauch hat, für den Dampfstrahlsauger mit Zwischenkühler vollkommen unrichtig ist, für den Sauger ohne Zwischenkühler aber nur in gewissen Fällen zutrifft, und daß es für diesen ebenso gut andere Betriebsbedingungen gibt, bei denen das Umgekehrte der Fall ist. Darauf aber, daß der Dampfstrahlsauger der Wasserstrahlluftpumpe an Einfachheit, Betriebsicherheit, Raumersparnis usw. überlegen ist, braucht kaum besonders hingewiesen zu werden, da es allgemein bekannt ist. Tatsächlich gibt es auch nur wenige Turbinenschiffe mit Wasserstrahlsaugern, aber mehrere Hundert mit Dampfstrahlluftpumpen, und zwar nicht nur ausländische, sondern auch deutsche. Dr.-Ing. K. H o e f e r.

Zuschrift von Oberingenieur Kapferer.

In dem Aufsatz von Herrn Professore Richter ist nicht gesagt, warum keine Dampfstrahlpumpe m i t Z w i s c h e n k ü h l e r zum Vergleich benutzt wurde; diese hat bekanntlich einen bedeutend kleineren Dampfverbrauch, als eine ohne Zwischenkühler. Bei Abgabe eines so schwerwiegenden Urteils, wie am Ende des Aufsatzes, ist es Pflicht des Urteilenden, die neuesten und besten Ausführungen zum Vergleich zu benutzen. Die meisten neuen deutschen Dampfer sind mit Dampfstrahlpumpen mit Zwischenkühler ausgerüstet, darunter die Dampfer „A l b e r t B a l l i n“ und „D e u t s c h l a n d“, außerdem sind eine Anzahl Landanlagen mit den neueren Dampfstrahlpumpen in Betrieb.

Einen Vergleich einer zweistufigen Dampfstrahlpumpe mit Zwischenkühler mit einer Wasserstrahlpumpe nach den Annahmen von Richter enthält Abb. 2. Hieran erkennt man die Überlegenheit des Dampfstrahlsaugers bei den praktisch vorkommenden Luftleeren.

Die gewonnenen Versuchsergebnisse mit einer Dampfstrahlpumpe mit Zwischenkühler, die für eine stündliche Dampfmenge von 500 kg und für gesättigten Dampf von 8 at ausgeführt war, lassen sich in die Gleichungen $z = 0{,}00068\ (y + 12)$ und $x = 340 + 1{,}5\,y$ zusammenfassen, wenn mit z die Luftleere in at abs, mit x der Dampfverbrauch und mit y die stündlich angesaugte Luft in kg bezeichnet werden.

Die Luft wurde mit abgerundeten Düsen von 3 bis 9 mm l. W. gemessen. Bei einem Barometerstand von 735 mm Q.-S. erreichte man eine Luftleere von 729 mm Q.-S., dies entspricht ohne Berücksichtigung des Feuchtigkeitsgehaltes 0,0081 at abs Luftdruck. Da die Dampfspannung der ersten Stufe bei geschlossener Saugöffnung auf 2 at und bei der Düse von 9 mm l. W. auf 4,7 at gedrosselt werden konnte ergab sich der Dampfverbrauch $x = 340 + 1{,}5\,g$, der sich bei unveränderlichem Druck nicht ändern würde.

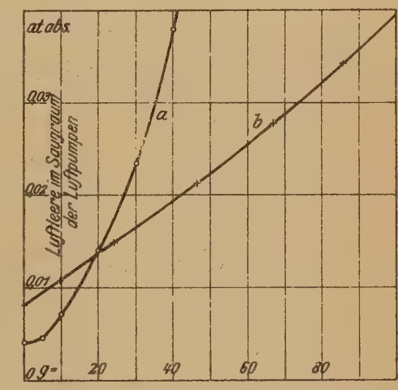


Abb. 2. Vergleich des Wasserstrahlsaugers *a* mit einem Dampfstrahlsauger *b* mit Zwischenkühler Bauart B a l c k e. Die Kurve des Wasserstrahlsaugers entspricht Abb. 2 des Aufsatzes von Prof. Richter g=angesaugte Luft für 1 m³ Wasser bei 10 m Gefällverbrauch und für 0,855 kg Dampf (8 at Überdr.).

Aus Abb. 2 ist zu entnehmen, daß die Wasserstrahlpumpe unterhalb 0,013 at abs der Dampfstrahlpumpe überlegen ist, dagegen leistet diese bei 0,03 at abs über doppelt so viel wie die Wasserstrahlpumpe.

Auf Grund der Veröffentlichung von G r u n e w a l d [1]) besteht vielfach die Annahme, daß der Dampfgehalt der angesaugten Luft vom Betriebswasser der Wasserstrahlpumpe niedergeschlagen wird und Herr Richter will hierfür in seinem Aufsatz mit Abb. 2 den Beweis liefern, nach der die angesaugte Luftmenge bei Strahlwassertemperaturen von 7,5 ° bis 15,7 °C unveränderlich ist, wenn die Teilspannung der Luft im Ansaugeraum, berechnet aus der jeweiligen Strahlwassertemperatur, als Grundlage dient.

Hierzu ist folgendes zu bemerken: Da die Luft, die infolge der hohen Ausdehnung durch die Meßdüse in den Saugraum strömt, eine so große Temperaturerniedrigung erfährt, daß der Dampfgehalt der Luft an der Austrittskante der Düse zum Teil als Eis niedergeschlagen wird, übersieht man ganz, daß nur trockene kalte Luft und restliches Kondensat zu fördern ist.

[1]) Z. Bd. 56 (1912) S. 1975.

Bei solchen Messungen ist die zu fördernde Luft bedeutend kälter wie das Strahlwasser. Dies ist der Grund, warum bei verschiedenen Strahlwassertemperaturen keine Leistungsunterschiede beobachtet werden konnten.

Das eben Bemerkte gilt auch für die Versuchseinrichtung von Herrn Richter, Abb. 1. Die dort durch die Kapsel eindringende Luft schlägt den erzeugten Dampf nieder, so daß die Wasserstrahlpumpe nur Luft und Kondensat zu fördern hat, namentlich bei größeren Lufteinlaßöffnungen. Mit dieser Versuchseinrichtung kann der Zustand, wie er bei ausgeführten Kondensationsanlagen vorhanden ist, nicht erreicht werden, da das Ansaugegemisch unter die Strahlwassertemperatur unterkühlt wird, so daß der absolute Teildruck der Luft eher höher ist, als wenn er nach der Strahlwassertemperatur bestimmt wird. An der Meßstelle t_1 der Abb. 1 im Aufsatz von Richter muß bei etwa 3 mm Düseneinlaß für die Luft die Temperatur unter der Strahlwassertemperatur gelegen haben. Ein solcher Versuch kann nicht anders gewertet werden wie ein Düsenversuch, bei dem Luft aus der Atmosphäre angesaugt wird.

Um dem in der Praxis vorkommenden Zustand einigermaßen nahe zu kommen, mußte die eingelassene Luft auf die der Luftleere entsprechende Temperatur erwärmt werden, bevor sie mit dem zur Mischung bestimmten Dampf in Berührung kommt. Der Versuch mit der Wasserstrahlpumpe würde dann ein anderes Bild geben.

Hinsichtlich des absoluten Luftteildruckes ist bisher noch nicht erwiesen, ob die Strahlwassertemperatur hierfür maßgebend ist. Der im Ansaugegemisch enthaltene Dampf ist an der Eintrittstelle der Auffangdüse, deren Querschnitt für die Saugleistung in Betracht kommt, noch nicht niedergeschlagen, weil in der hier in Betracht kommenden kurzen Zeit, dem Gemisch an der Eintrittstelle keine ausreichende Wärme entzogen werden kann, um den Dampf niederzuschlagen. Es wird daher nur eine kleine Dampfmenge, die mit dem Wasserstrahlmantel in Berührung kommt, niedergeschlagen. Das Niederschlagen des ganzen Dampfes geschieht erst an der Mischstelle im engeren Hals der Düse, diese Stelle ist aber für die Saugleistung nicht maßgebend.

Mit rückgekühltem Wasser von etwa 26 ° bis 27 ° C, wie es in der Praxis meist üblich ist, wird die Kühlwirkung an der Eintrittstelle infolge des kleinen Temperaturunterschiedes zwischen Luft und Strahlwasser fast null sein.

Es kommt daher bei der Wasserstrahlpumpe zur Bestimmung des Luftteildruckes nicht die Strahlwassertemperatur, sondern die Temperatur des Dampf-Luftgemisches wie bei der Dampfstrahlpumpe in Frage. Nur bei ganz kleinen Luftmengen, die im praktischen Betriebe nicht vorkommen, wird die Strahlwassertemperatur als Grundlage dienen können.

Durch die Annahme, daß die Wasserstrahlpumpe den im Ausgangsgemisch enthaltenen Dampf schon an der Ansaugstelle niederschlägt, wird ihr eine günstige Eigenschaft beigemessen, die nicht vorhanden ist.

Das der Versuchspumpe zugrunde gelegte Gefälle von 10 m ist die unterste Grenze, bei der die Strahlpumpe noch stabil arbeitet, wenn aus einer hohen Luftleere gefördert wird; sind noch Saughöhen zu überwinden, dann erhöht sich der Kraftbedarf bei gleicher Luftleistung, und die Leistung der Dampfstrahlpumpe würde sich noch günstiger stellen, als es in Abb. 2 dargestellt ist.

Außer der günstigeren Leistung der Dampfstrahlpumpe mit Zwischenkühler gegenüber der Wasserstrahlpumpe, hat jene noch den Vorzug, daß das Kondensat des abgesaugten Dampfes wiedergewonnen wird.

Die Wasserstrahlpumpe (im Prinzip gleich arbeitend wie die Dampfstrahlpumpe), die die im Dampf enthaltene Energie auf dem Umweg über Kraft- und Arbeitmaschine erhält, muß schon aus diesem Grunde eine geringere Leistung haben, als die Dampfstrahlpumpe, außerdem ist bei jener auch der mechanische Wirkungsgrad schlechter als bei dieser wegen des ungünstigen Verhältnisses der Strahldicke zur Manteloberfläche und wegen der größeren Stoßverluste des unelastischen Treibmittels.

Das Ausland, das die Dampfstrahlpumpe zum Absaugen der Luft aus Kondensatoren zuerst benutzte und sie jetzt fast ausschließlich hierzu verwendet, hat die Überlegenheit dieser Luftpumpe gegenüber allen andern schon länger erkannt.

Karl Aug. Kapferer, Oberingenieur.

Erwiderung von Direktor Blaum.

Die Bemerkungen von Herrn Dr.-Ing. Heuser und Herrn Dr. Hoefer sind durch den inzwischen in Z. Bd. 67 (1923) S. 1042 erschienenen Aufsatz von Herrn Professor Richter, soweit es das Arbeiten der Wasserstrahlluftpumpe nach Patent Dr.-Ing. Paul H. Müller und die theoretischen Fragen angeht, so klar widerlegt, daß ein Eingehen darauf nicht mehr nötig ist. Zu den anderen Bemerkungen von Herrn Dr. Heuser möchte ich folgendes antworten:

Zu 1) Wenn man den Umfang der beiden Anlagen vergleichen will, darf man nicht eine Anlage in mehr Einzelteile zerlegen als die andre. Der zweite Röhrenkühler ist nur für die Dampfstrahlanlage einzubauen. Ein Oberflächenvorwärmer ist aber sowohl auf „Wangoni“ als auf „Usambara“ vorhanden. Auf „Usambara“ wird aber der Abdampf der Antriebmaschine für den Strahlwasserapparat wie der jeder anderen Hilfsmaschine in die gemeinsame Abdampfleitung geführt. Der Röhrenkühler auf „Wangoni“ ist also ein ausschließlicher Bestandteil der Dampfstrahlanlage. Außerdem ist die Bezeichnung „ein Strahlapparat“ für die Dampfdüse irreführend. In Wirklichkeit sind es zwei Düsensysteme, auch wenn sie äußerlich in einem Apparat vereinigt sein mögen, ebenso wie bei der Wasserstrahlpumpe der Strahlapparat mit Luftabscheider und Röhrenkühler in einen Apparat vereinigt sind.

Zu 2) Ich muß es dem Urteil der Fachgenossen überlassen, ob eine Wasserstrahlluftpumpe von etwa 70 mm l. W. und 6 mm Wanddicke an der Düse und ein Drallkörper bei 18 m/s Wassergeschwindigkeit sich absolut und relativ schneller abnutzt als eine Dampfstrahldüse von etwa 10 mm l. W. bei 500 m/s Geschwindigkeit des Dampfes.

Wie man eine sich drehende Pumpe von 265 Uml./min als der Abnutzung stark unterliegend bezeichnen kann, ist mir unverständlich. Die Punkte 3, 4, 5 und 6 sind bereits durch den Aufsatz von Professor Richter erledigt.

Zu 7) Über den Umfang der Lieferungen von Wasserstrahlluftpumpen wird Herr Dr. Heuser selbst sehr genau im Bilde sein, auch über solche Fälle, in denen die Dampfstrahlpumpen durch Wasserstrahl-Anlagen ersetzt wurden. Es sind allein über 300 Wasserstrahlanlagen in Betrieb.

Im übrigen wird die Frage, welcher Apparat sich an Bord von Schiffen besser bewährt, durch die Praxis entschieden werden.

Blaum.

Erwiderung von Prof. Richter.

In meinem Aufsatz mußte ich mich wegen der von der Schriftleitung gewünschten Kürze darauf beschränken, lediglich den zweistufigen Dampfstrahlapparat ohne Zwischenkondensation, der einfacher als derjenige mit Zwischenkondensation und daher beachtenswerter ist, mit dem Wasserstrahlapparat zu vergleichen. um so mehr, als für deutsche Dampfstrahlapparate mit Zwischenkondensation zuverlässige Versuchsergebnisse nicht vorlagen. Die Zuschrift des Herrn Dr.-Ing. K. Hoefer gibt mir willkommene Gelegenheit, auf den zweistufigen Dampfstrahlapparat mit Zwischenkondensation einzugehen.

Herr Hoefer sucht in seiner Zuschrift die Überlegenheit des Dampfstrahlapparates mit Zwischenkondensation nachzuweisen, begeht hierbei aber zwei Fehler:

1) Er erhöht den Dampfverbrauch der Antriebmaschine des Wasserstrahlapparates, der von mir bereits reichlich eingesetzt wurde, willkürlich um 25 vH. Diese Erhöhung ist ungerechtfertigt, denn für die Antriebmaschine kann nur ein Dampfverbrauch in Betracht kommen, wie er sich bei dem verfügbaren überhitzten Frischdampf ergibt. Es würde widersinnig sein, die Dampfspannung auf einen für den Dampfstrahler gebräuchlichen Wert herabzudrosseln und die Überhitzung, die dem Dampfstrahler keinen Vorteil bringt, zu beseitigen.

2) Herr Hoefer benutzt seine früheren Mitteilungen über amerikanische Dampfstrahlluftpumpen, die auf einen Barometerstand von 760 mm Q.-S. bezogen sind, jetzt irrtümlich so, als wenn sie sich auf 735,5 mm Q.-S. bezögen.

Nach diesen Richtigstellungen ergibt sich als Ergänzung zu meiner Veröffentlichung Abb. 3 an Stelle der Abb. 1 von Hoefer:

Nimmt man mit Hoefer an, daß bei Bordanlagen mit geschlossenem Strahlwasserkreislauf (Z. 1923 S. 956) die Strahlwassertemperatur 3 °C über der Kühlwasser-Eintrittemperatur liegt (an Bord wurden 2 °C festgestellt), so ergeben sich hierfür die ebenfalls in Abb. 3 eingezeichneten Kurven. Der Vergleich der Kurven für den Wasserstrahlapparat mit denjenigen für den Dampfstrahlapparat mit Zwischenkondensation zeigt, daß bei 3 ° Unterkühlung und gleicher Luftleistung der Dampfverbrauch

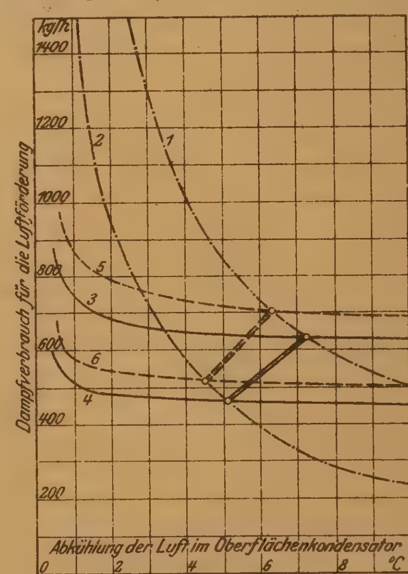
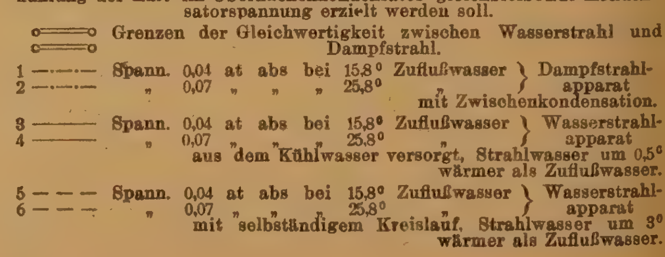


Abb. 3. Dampfverbrauch der Luftförderung, wenn bei verschiedener Abkühlung der Luft im Oberflächenkondensator gleichbleibende Kondensatorspannung erzielt werden soll.



des Dampfstrahlapparates bei 0,04 kg/cm² Kondensatorspannung um 75 bzw. 100 vH, bei 0,07 kg/cm² Kondensatorspannung um 37 bzw. 54 vH größer ist als derjenige des Wasserstrahlapparates. Bei 2 ° Unterkühlung sind die Unterschiede noch erheblich größer.

Bei hochwertigen Kondensationsanlagen, das sind solche, bei denen die Warmwassertemperatur der Dampftemperatur nahekommt und höchstens 10 ° über der Kaltwassertemperatur liegt, wird die Luft höchstens 3 ° unter die Dampftemperatur abgekühlt. Ist dieser Temperaturunterschied größer, so wird man auch immer feststellen können, daß der Temperaturunterschied zwischen Warmwasser und Dampftemperatur erheblich ist, d. h. die Abkühlung der Luft auf Kosten der Luftleere erreicht wurde. Luftunterkühlungen von 15 ° bis 30 °, von denen Hoefer spricht, sind also nur bei ganz schlechter Luftleere möglich und können daher hier außer Betracht bleiben. Die von Hoefer angezweifelten Angaben Blaums sind also richtig, d. h. der Wasserstrahlapparat ist bei hochwertigen Oberflächenkondensationsanlagen auch dem Dampfstrahlapparat mit Zwischenkondensation überlegen.

Die Vergleichsversuche, auf die Hoefer noch hinweist und deren Ergebnisse von ihm im Forschungsheft 253 Zahlentafel 30 mitgeteilt sind, beziehen sich nicht auf einen mit Druckwasser betriebenen Strahlapparat der von mir untersuchten Art, sondern auf eine Schleuderradluftpumpe. Außerdem geht aber aus dem Vergleich von Hoefers Versuchen 6 mit 7 einerseits und 9 mit 10 anderseits hervor, daß die Schleuderradpumpe eine bessere Luftleere ergeben hat als der Dampfstrahlapparat, wie aus dem geringeren Abstand der Warmwasser- von der Dampftemperatur hervorgeht. Da dieser wichtige Wert in der Hoeferschen Zahlentafel fehlt, ist er in der nachfolgenden Zahlentafel entwickelt.

Zahlentafel 1.

Versuch Nr.	Luftabsaugung durch	absolute Kondensatorspann. mm/Q.S.		Dampf-Temperatur in °C		Kühlwassereintritt	Kühlwasser-Abflußtemperatur °C		Unterschied zwischen Dampf- und Kühlwasser-Ablauftemperatur	
		Backbord	Steuerbord	Backbord	Steuerbord	°C	Backbord	Steuerbord	Backbord	Steuerbord
6	Dampfstrahl	22,5	21,5	24,22	23,45	2	18	18	6,22	5,45
7	Schleuderpumpe	19.5	17,5	21,85	20,22	2	16	16	5,85	4,22
9	Dampfstrahl	25,5	25,5	26,34	26,34	2	18	19	8,34	7,34
10	Schleuderpumpe	19,5	17,5	21,85	20,22	2	16	16	5,85	4,22

Bei der Bemängelung meiner Darstellung hat Hoefer übersehen, daß Abb. 6 in meinem Aufsatz gerade das von ihm vermißte Kurvenbild, von welchem er einen günstigeren Eindruck für den Dampfstrahlapparat erwartet, zeigt. Diese Abb. 6 ist vor allem auch wichtig, weil die Kondensatoren auf der Wasserseite verschmutzen und im Verlaufe dieser Verschmutzung eine anfänglich vorhandene Abkühlung der Luft verschwindet. Für den praktischen Betrieb ist es aber vor allem maßgebend, wie sich der Kondensator im Verlaufe der Verschmutzung verhält. Betriebsleitern, die Dampfstrahlapparate aufstellen wollen, zeigt die Abb. 6, was sie bei zunehmender Verschmutzung des Kondensators zu erwarten haben.

Auch den Ansichten Hoefers über Abdampfverwertung kann ich nicht zustimmen. Wird ein geeignet gebauter Oberflächenkondensator durch eine Wasserstrahlluftpumpe entlüftet, so wird die Luft nicht nennenswert unterkühlt sein und daher auch das Kondensat eine Temperatur haben, die die Dampftemperatur um nicht mehr als 3 ° unterschreitet, so daß es nicht nötig ist, dem Kondensat Wärme zuzuführen, die ihm unnötigerweise im Kondensator entzogen wurde.

Herr Oberingenieur Kapferer hat sich bei seiner Zuschrift in den Gesetzen der Wärmelehre geirrt. Nach diesen Gesetzen hat die Luft die niedrige Temperatur beim Durchtritt durch die Meßdüse nur dort, wo die hohe Geschwindigkeit herrscht. Nachdem die Bewegungsenergie durch Reibung vernichtet ist, haben permanente Gase theoretisch die gleiche Temperatur wie vor der Meßdüse. Schon deshalb kann die Luft den an der Mischstelle zufließenden Dampf nicht kondensieren. Die Folgerungen des Herrn Kapferer, die sich auf seinen Irrtum gründen, sind also unrichtig. Außerdem ist bei meinen Versuchen die Dampfmenge, die vor dem Eintritt in den Strahlapparat kondensiert ist, nicht mitgemessen, wie aus meinem Versuchsbericht hervorgeht.

Auch die Ansicht Kapferers, daß die Temperatur t_l kälter als die Temperatur t_w gewesen sein müsse, gründet sich auf den erwähnten physikalischen Irrtum und ist daher unrichtig. Im übrigen sind die Messungen beider Temperaturen der Abb. 3 meines Aufsatzes, wo sie durch kleine Kreise hervorgehoben sind, zu entnehmen. Die entsprechenden Zahlentafeln mußten wegen Platzmangels fortbleiben.

Kapferer wiederholt ohne jede Beweisführung alte Vermutungen über die Vorgänge im Wasserstrahlapparat. Die wirklichen, durch diese Vermutungen angezweifelten Vorgänge sind gerade durch meine Versuche festgestellt. Wenn Kapferer trotzdem noch jede Kondensationswirkung im Ansaugraum des Wasserstrahlapparates anzweifelt, so ist mir unklar, wie er die Wirkung eines Injektors erklären will, bei dem die Kondensation in noch viel kürzerer Zeit und noch viel kleinerem Raum erfolgt.

Wer beim Betrieb eines mit Druckwasser betriebenen Strahlapparates Saughöhe verloren gibt, versteht ihn nicht anzuwenden; wer bei 10 m Treibgefälle schon an der Grenze der Betriebsicherheit bei geringer Ansaugespannung ist, versteht ihn nicht zu bauen.

Die von Kapferer angegebenen Versuchskurven sind für die vorliegende Betrachtung bedeutungslos, da es sich hierbei nur um die Förderung trockener Luft handelt. Außerdem sind die Angaben für den Dampfstrahlapparat darin viel zu günstig, weil für die ungeeichten Meßdüsen die Ausflußziffer = 1 gesetzt ist, während diese engen Düsen trotz aller Abrundung in Wahrheit viel kleinere Ausflußziffern haben, also wesentlich kleinere Luftmengen durchlassen, als Herr Kapferer annahm.

Aus diesen Richtigstellungen der Zuschriften der Herren Dr.-Ing. K. Hoefer und Oberingenieur Kapferer geht hervor, daß meine Schlußfolgerungen, die ich an meinen Versuchsbericht knüpfte, uneingeschränkt bestehen bleiben. Die richtige Anwendung des von mir untersuchten Wasserstrahlapparates bei Oberflächenkondensationsanlagen stellt auch gegenüber dem Dampfstrahlapparat, den das weniger auf Sparsamkeit angewiesene Ausland ausgebildet hat, einen deutschen Fortschritt der Technik dar. Durch gute Ausnutzung der Kondensatoroberfläche, geringen Kraftbedarf, günstige Bedingungen für Abdampfausnutzung und einfachen Betrieb wird erhöhte Wirtschaftlichkeit erreicht.

Ich benutze die Gelegenheit, die Druckfehler in den Unterschriften der Abbildungen meines Aufsatzes in Z. Bd. 67 (1923) S. 1042 zu berichtigen. Es muß heißen bei

Abb. 4: Förderleistung in g Luft für 1 kg Treibdampfverbrauch;
Abb. 5: Die beiden dünnen Kurven geben den im Oberflächenkondensator nicht kondensierten Dampfrest an.
Abb. 6: Erzielbares Vakuum mit beiden Strahlapparaten.
Abb. 7: Kurven für Kondensat-Erwärmung.

Prof. Fritz L. Richter.

Um den umfangreichen Zuschriftenwechsel hiermit zum Abschluß zu bringen, haben wir die gesamten Zuschriften an alle beteiligten Herren zur Kenntnisnahme gesandt, daraufhin erhalten wir folgende

Rückäußerung von Dr.-Ing. Hoefer.

Wenn der Dampfstrahlsauger dafür gebaut ist, verbraucht er bei Überhitzung entsprechend weniger Dampf oder bei höherem Druck weniger als bei niedrigerem, siehe die Versuche Z. 1923 S. 65 Abb. 8 (17 at Überdruck, rd. 370 °C). Den Dampfverbrauch der Turbine bei Betrieb mit überhitztem Dampf und höherem Druck und den Dampfverbrauch des Strahlsaugers bei Sattdampf und niedrigerem Druck zum Vergleich zu benutzen, ist unzulässig und durch nichts gerechtfertigt.

In meiner Veröffentlichung Z. 1921 S. 199 bezieht sich Abb. 2 auf 760 mm Barometerstand. Ich habe die Luftgewichte für $\frac{1,033 - 0,04}{1,033} \cdot 100 = 96,1$ vH bzw. für $\frac{1,033 - 0,07}{1,033} \cdot 100 = 93,2$ vH, also richtig entnommen.

Die weiterhin angeführten Vergleichsversuche 6 und 7 bzw. 9 und 10 wurden — was nicht erwähnt ist — bei 15 vH Belastung der Hauptmaschine vorgenommen, kommen also für den hier in Rede stehenden Vergleich bei Vollast nicht in Betracht. Auf die Überlegenheit der Wasserstrahlluftpumpe über den Dampfstrahlsauger ohne Zwischenkondensator bei geringen Luftmengen (entsprechend geringer Belastung) hatte ich bereits selbst hingewiesen (Forschungsheft 253, Abb. 41).

Inwiefern Abb. 6 des Richterschen Aufsatzes mit gleichbleibendem Luftgewicht die von mir empfohlenen Versuchsreihen bei veränderlichem Luftgewicht und gleichbleibender Ansaugetemperatur darstellen soll, ist mir nicht verständlich. Es ist ferner unrichtig, daß die Abkühlung der Luft durch die Verschmutzung auf der Wasserseite des Kondensators beeinträchtigt wird, da die Wärmeübergangszahl Wandung-Wasser auf die Wärmedurchgangszahl Luft-Wasser fast gar keinen Einfluß hat. Andererseits wird die Wärmeübertragung Dampf-Wasser durch die Verschmutzung beim Vorhandensein eines Wasserstrahlsaugers in genau derselben Weise beeinträchtigt wie beim Dampfstrahlsauger.

Weiter kann bei geringer Abkühlung der Luft das Kondensat weit stärker unterkühlt sein.

Endlich bin ich erst bei der weiteren Durcharbeitung der Versuchsergebnisse auf einen Punkt aufmerksam geworden, der m. E. besonders wichtig ist. Im Bericht des Herrn Prof. Richter sind die Luft- und Wassermengen selbst nicht angegeben. Aus einem nach Abb. 1 in Z. 1923 S. 1042 geschätzten Durchmesser der Wasserdüse von 16 mm erhält man rd. 14 m³/h Wasser und für Versuchsreihe a_1 mit der größten Luftmenge rd. 0,5 kg/h. Eine so kleine Luftmenge kommt praktisch überhaupt nicht vor. Für die in den Zahlenbeispielen angenommene Luftmenge von 18 kg/h ist — bei Ausführung eines Apparates — schätzungsweise ein Durchmesser der Wasserdüse von rd. 95 mm erforderlich. Es ist zum mindesten fraglich, ob bei einem so dicken Strahl die inneren Teile trotz des Dralls ebenso zur Verflüssigung des Dampfes und zur Absaugung der Luft beitragen wie bei dem untersuchten Strahl von nur 16 mm Dmr. und wahrscheinlich, daß der Unterschied zwischen den Richterschen Versuchen mit 0,2 bis 0,5 kg/h Luft und den von mir veröffentlichten Versuchen mit 9 bis 40,5 kg/h Luft auf diesen Umstand und nicht auf die Verschiedenartigkeit der Wasserstrahlluftpumpen zurückzuführen ist. Nur Versuche an einer ausgeführten Kondensationsanlage können einen vollgültigen Beweis für die Richtigkeit der Behauptungen von Herrn Prof. Richter erbringen.

Dr. Hoefer.

Erwiderung von Prof. Richter.

Für den Vergleich sind die Verhältnisse maßgebend, wie sie für die Anwendung beider Apparate innerhalb der Dampfkraftanlage vorliegen. Herr Dr. Hoefer hat im Gegensatz zu seinen jetzigen Ausführungen in Z. 1921 S. 201 rechte Spalte erster Absatz im Anschluß an seine damaligen Versuche selbst gesagt, daß hohe Überhitzung des Eintrittdampfes für den Dampfstrahl-

sauger keine Vorteile bringt. Er hat dort ferner durch Abb. 7 gezeigt, daß eine Überschreitung der Eintrittspannung, für die der Strahlapparat gebaut ist, keinen Vorteil bringt, daß aber bei Unterschreitung dieser Eintrittspannung die erzielte Luftleere sehr schnell abfällt. Da dieses unzulässig ist, müssen die Dampfstrahlsauger für eine geringere Spannung bemessen werden, als sie beim normalen Betrieb vorliegt. Sonst würde die Kondensation beim Abschlacken der Kessel versagen, weil hier starkes Abfallen der Eintrittspannung oft unvermeidlich ist. Der Direktor einer Schiffswerft bestätigte kürzlich, daß beim Dampfstrahlsauger während des Abschlackens der Kessel oft Schwierigkeiten eintreten. Aus diesem Grunde sind offenbar die Dampfstrahlsauger für eine geringere Eintrittspannung bemessen, als für den Antrieb der Hauptmaschine üblich ist. Deshalb ist auch belanglos, wenn Hoefer in Z. 1923 S. 64 und 65 für einen Dampfstrahlsauger bei 17 at Eintrittspannung und für das Ansaugen trockener Luft einen geringeren Dampfverbrauch mitteilt. Zudem handelt es sich hier um die Wiedergabe eines ausländischen Versuchsberichtes, bei dem Hoefer damals selbst Unstimmigkeiten feststellte und die sich auf gänzlich abweichende ausländische Ausführungen beziehen, die von den deutschen Vertretern nicht übernommen sind, und von denen Hoefer damals selbst sagte, daß sie anderweitige Verluste aufweisen. Durch die Anwendung der Überhitzung ist hier aber nicht eine Dampfersparnis von 25 vH, sondern als Höchstwert eine solche von 10 vH mitgeteilt. Da es Hoefer unterlassen hat, im Zusammenhang mit diesen Mitteilungen seine Ausführungen aus 1921 irgendwie zu berichtigen, und da die deutschen Dampfstrahlvertreter mit Recht immer nur die Erfolge ihrer eigenen, nicht diejenigen dieser ausländischen von ihnen nicht nachgeahmten Ausführung zugrunde legen (Zuschriften von Heuser und Kapferer), ist es unzulässig, diese ausländischen, früher angezweifelten Versuchsergebnisse als maßgeblich heranzuziehen.

Hoefer bestätigt jetzt, daß für seine Abbildung 2 auf S. 199 in Z. 1921 der Barometerstand 760 mm gilt und beseitigt damit einen wesentlichen Mangel seiner damaligen Veröffentlichung. Denn solange der Barometerstand ungenannt ist, ist bei der von Hoefer angegebenen Luftleere die absolute Kondensatorspannung, die den einzig wichtigen Wert bildet, nicht angegeben.

Die Zahlenrechnung beweist, daß aus jener früher von Hoefer mitgeteilten Abb. 2 die jetzt von ihm in Abb. 1 für den zweistufigen Dampfstrahlsauger mit Zwischenkondensation angegebenen Kurven sich nur ermitteln lassen, wenn 735,5 mm Q.-S. Barometerstand angenommen wird, und daß sich für 760 mm Q.-S. nur die von mir an Stelle dessen in Abb. 3 angegebenen Kurven ableiten lassen. Irgendwie muß sich Hoefer also zugunsten des Dampfstrahlsaugers geirrt haben. Dieser Irrtum Hoefers ist um so auffallender, als seine in der jetzigen Abb. 1 angegebenen Kurven sogar eine Steigerung des vom Dampfstrahlsauger geförderten Gesamtgewichtes mit zunehmendem Verhältnis Dampfgewicht zu Luftgewicht darstellen, während Hoefer 1921 S. 202 linke Spalte erster Absatz aus jener Abbildung ausdrücklich folgerte, „daß das abgesaugte Gesamtgewicht um so kleiner wird, je größer das Verhältnis Dampfgewicht zu Luftgewicht ist."

Meinen Beweis in Zahlentafel 1, daß bei den Hoeferschen Versuchen (Forschungsheft 253) die Wasserschleuderpumpe die absolute Kondensatorspannung unter gleichen Verhältnissen niedriger eingestellt hat als der Dampfstrahlsauger, sucht Hoefer mit der Bemerkung zu entkräften, daß hierbei der Kondensator nur gering belastet gewesen sei. Für diese Gegenüberstellung ist aber gerade die geringe Dampfbelastung des Oberflächenkondensators für den Wasserstrahl ungünstig. Denn bei der geringen Dampfbelastung kann der Oberflächenkondensator leichter Kühlfläche zu der vom Dampfstrahlsauger benötigten Luftabkühlung hergeben als bei der großen. Hoefer irrt in der Behauptung, daß bei geringerer Dampfbelastung des Kondensators eine geringere Luftmenge eintrete. Seine von ihm angezogene, im Forschungsheft 253 veröffentlichte Abb. 41 ist völlig wertlos, erstens weil er auf der Grundlage „Luftleere in vH des Barometerstandes" bei verschiedenem Barometerstand aufgenommene Versuche zusammenstellt, so daß übereinstimmende Zahlen in den verschiedenen Fällen ganz verschiedene absolute Kondensatorspannung bedeuten, zweitens weil im Zusammenhang mit der Kondensation gleiche Strahlwassertemperatur bei verschiedener Kondensatorspannung keine brauchbare Grundlage bildet, drittens weil er die von mir untersuchten Wasserstrahlsauger überhaupt nicht betrachtet hat, und viertens weil die von ihm für den Wasserstrahlsauger angegebenen Kurven für das Ansaugen gesättigter Luft überhaupt nicht durch Versuche ermittelt, sondern einfach unter der Annahme entworfen sind, daß sich der Wasserstrahlsauger gegenüber wasserdampfgesättigter Luft genau so verhalte wie der Dampfstrahlsauger. Hoefer darf nicht durch diese Annahme, die durch meine Versuche als falsch erwiesen ist, die Richtigkeit meiner Versuche anzweifeln.

Für die von mir dargelegte Wirkung der Rohrverschmutzung ist es nebensächlich, daß die Wärmeübergangszahl Wand auf Wasser zurücktritt gegenüber derjenigen Luft auf Wand. Wichtig ist, daß die Wärmeübergangszahl Wand auf Wasser einzig maßgebend ist gegenüber derjenigen Dampf auf Wand. Hieraus folgt, daß die Dampfkondensation immer mehr Kühlfläche braucht, je mehr die Rohre verschmutzen, und daß deshalb immer weniger für die Luftabkühlung, die nur der Dampfstrahlsauger fordert, übrig bleibt.

Ich habe nicht behauptet, daß meine Abb. 6 die von Hoefer als besser empfohlene Versuchsausführung darstellt, wiederhole aber, daß Hoefer bei dem Inhalt seiner ersten Zuschrift diese Abb. 6 übersehen hat. Bei reiflichster Überlegung muß ich meine Versuchsausführung für zweckmäßiger halten als die von Hoefer empfohlene, wie ich auch meine Anwendung der absoluten Kondensatorspannung für richtiger halten muß als Hoefers Luftleere in vH des jeweiligen Barometerstandes.

Meine Versuche wurden allerdings mit einer Wasserstrahlluftpumpe geringerer Abmessung vorgenommen, als sie bei Kondensationsanlagen vorkommen. Hoefer behauptet jetzt, daß größere Strahlpumpen wesentlich ungünstiger arbeiten würden als diese kleine, während er im Forschungsheft 253 S. 44 oberste Zeilen gerade entgegengesetzt die Ansicht vertreten hat, daß der kleine Wasserstrahlapparat ungünstiger arbeite als der große. Diese Beanstandung meiner Veröffentlichung wird einwandfrei dadurch widerlegt, daß die großen Strahlpumpen der Kondensationsanlagen Paul H. Müller, Hannover, auf Grund der Feststellungen, die ich an der gleichen kleinen Strahlpumpe vor etwa 12 Jahren vorgenommen habe, ausgeführt werden und daß sich für noch viel größere Ausführungen, als Hoefer angibt, völlige Übereinstimmung ergeben hat. Daß diese Wasserstrahlpumpen von den kleinen zu den großen Ausführungen proportional betrachtet werden können, ist einmal darauf zurückzuführen, daß sie einen aufgelockerten Wasserstrahl haben, ferner darauf, daß mit der Strahldicke auch die freie Strahllänge zunimmt, so daß der äußere Berührungsmantel zwischen Wasserstrahl und Ansaugegas sich mit der zweiten Potenz des Mündungsdurchmessers vergrößert, also genau wie die durch die Düse fließende Wassermenge.

Herrn Heuser ist zu erwidern, daß gar nicht behauptet ist, daß die für den Müllerschen Strahlsauger bewiesenen Verhältnisse auch für die Schleuderpumpe Westinghouse-Leblanc gelten. Es ist deshalb bedeutungslos, daß beim Übergang von dieser Schleuderpumpe zum Dampfstrahlsauger keine Unterschiede festgestellt wurden. Es wird nicht bestritten, daß der aus der Eintrittsdüse austretende Dampfstrahl die zu der Spannung gehörige Verdampfungstemperatur hat. Da die Luft gegenüber dieser Temperatur unterkühlt sein muß, kann der Dampfstrahl im Ansaugeraum keine Abkühlung der Luft hervorrufen. Er kann das ebensowenig bei der Wasserdampf-Kältemaschine. Denn hier ist er lediglich der Kompressor. Die von Heuser angezogene Veröffentlichung im Schiffbau setzt eine Abkühlung der Luft im Oberflächenkondensator bis über 11° voraus und ist damit für die hier behandelte Frage völlig bedeutungslos. Fritz Richter.

Der Nachstrom bei Schiffen.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß das Wasser dem Schiff bei seiner Fahrt nacheilt. Die Größe der Nachstromgeschwindigkeit ist je nach der Schiffsform und Schiffsgeschwindigkeit verschieden. Auch ihre Verteilung über die Schraubenebene ist nicht gleichmäßig, wie besonders Modellversuche von Taylor gezeigt haben. Für die Berechnung der Schiffsschraube ist die Kenntnis der Nachstromgeschwindigkeit von großer Wichtigkeit. Man braucht hierzu im allgemeinen den mittleren Nachstrom, den man auf Grund von Modellversuchen abschätzt, da eine unmittelbare Messung am Schiff nicht möglich ist.

Man hatte sich bisher mit dem mittleren Nachstrom über die ganze Schraubenfläche begnügt, neuerdings ist man der Frage aber noch weiter nachgegangen, indem man den Nachstrom für einzelne konzentrische Ringflächen innerhalb der Schraubenfläche bestimmt hat. Einem Sonderbericht der rührigen Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt, die diese Versuche ausgeführt hat, entnehmen wir folgendes: Die Versuche, die man an Schiffsmodellen vorgenommen hat, sind mit Flügelrädern ausgeführt worden, deren Flügel in verschiedenen Abständen von der Flügelradachse angebracht waren. Die Flügelradachse selbst wurde in Richtung der Schraubenachse gestellt. Die Versuche führten zu dem Ergebnis, daß bei dem Modell eines Einschraubendampfers der Nachstrom an den Flügelspitzen etwa 20 vH der Schiffsgeschwindigkeit beträgt und nach der Nabe hin parabolisch bis auf 100 vH zunimmt. Beim Zweischraubenschiff, bei dem sich die Flügelspitzen der Schiffsmitte am weitesten nähern, beträgt der Nachstrom an den Flügelspitzen etwa 20 vH und nimmt nach der Schraubennabe hin bis auf einen nahezu gleichbleibenden Betrag von 7,5 vH ab. Die Werte ändern sich, wie oben erwähnt, mit der Schiffsform und Geschwindigkeit, werden aber vermutlich im allgemeinen denselben Verlauf zeigen.

Die genannte Versuchsanstalt hat das Ergebnis beim Modell eines Einschraubendampfers für die Konstruktion einer Schraube benutzt und die Steigung entsprechend dem Anwachsen des Nachstroms nach der Nabe hin vermindert, woraus sich eine Schraube mit nahezu ebener Druckseite ergab. Wie verschieden die Ansichten über die zweckmäßigste Gestaltung der Druckseite noch heute sind, erkennt man daraus, daß Prof. Föttinger erst kürzlich ein Patent auf eine Schraube mit unendlich großer Schraubensteigung an der Nabe genommen hat und daß auch die bekannte Firma Zeise, Hamburg, die Steigung gegen die Nabe hin zunehmen läßt. Der Versuch mit der den Nachstromverhältnissen angepaßten Schraube mit abnehmender Steigung nach der Nabe hin ergab eine Verringerung der Schraubensogs um 4,8 vH und einen Leistungsgewinn gegenüber einer gewöhnlichen Schraube mit gleichbleibender Steigung um 6,2 vH.

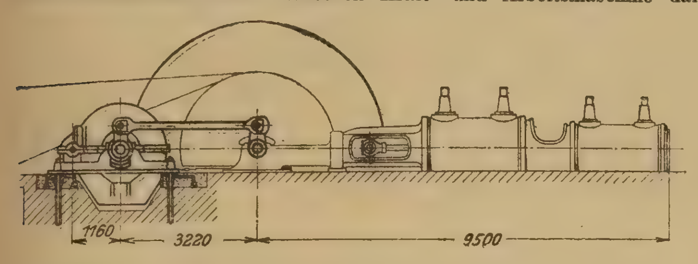
[M 187] Dr. W. S.

RUNDSCHAU.

Kraftanlagen.

Erfolgreicher Umbau von Kraftanlagen.

Die Entwicklung der Dampfturbine drängt auf Erhöhung der Drehzahlen hin. Da die Umlaufzahl der Drehstromerzeuger an die normale Frequenz von 3000 Per./min gebunden ist und je nach der Polzahl 3000, 1500 oder 1000 usw. betragen muß, stellt das Zahnradgetriebe den willkommenen Mittler zwischen Kraft- und Arbeitsmaschine dar.



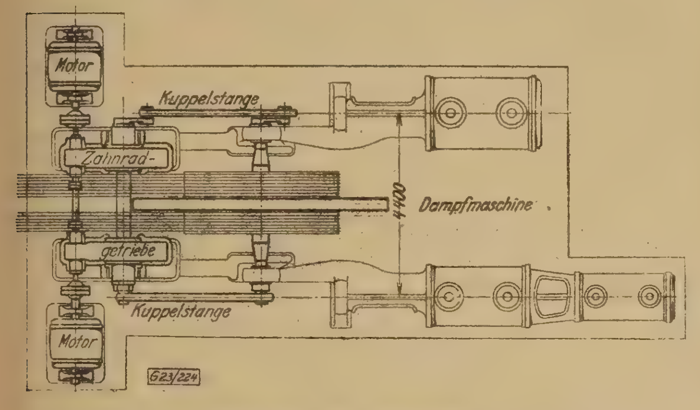


Abb. 1 und 2. Umänderung des Dampfantriebes eines Gummiwalzwerkes in elektrischem Antrieb mit Zahnradgetriebe.

Der Verlust von etwa 1,5 bis 3,5 vH wird meistens durch die größere Wirtschaftlichkeit der schnellaufenden Antriebmaschinen ausgeglichen.

Abb. 1 und 2 zeigen einen unter Verwendung von Zahnradgetrieben umgebauten Transmissionsantrieb für 1300 PS. Ursprünglich arbeitete eine Dampfmaschine auf eine Seilscheibe, von der aus die einzelnen Maschinen durch die abgeleiteten Seile angetrieben wurden.

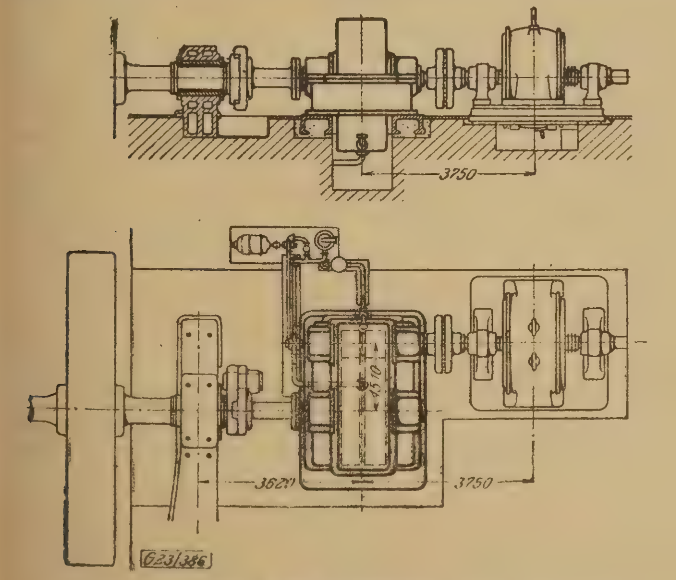


Abb. 3 und 4. Antrieb einer Walzenstraße mittels Elektromotor und Zahnradgetriebe.

Zwecks Kohlenersparnis beschloß die Werkleitung, elektromotorischen Betrieb einzurichten, wobei die Dampfmaschine als Aushilfe beibehalten werden sollte. Man stellte zwei Elektromotoren rechts und links von der Seilscheibe auf. Auf ihren durchgehenden Verbindungswellen wurden die Ritzel angebracht, die ihrerseits mit den großen Rädern in Eingriff stehen. Auf der ebenfalls durchgehenden gemeinsamen Welle beider Räder sitzt zu beiden Seiten der Gehäuse je eine Kurbel, deren Zapfen genau gleich demjenigen der Kurbelwelle der Seilscheibe ist. Die Kurbeln der Getriebe sind um 90° gegeneinander versetzt und mit denen der Seilscheibe durch je eine Schubstange verbunden. Das Übersetzungsverhältnis beträgt 750 : 98. Im Falle, daß die Dampfmaschine zum Antrieb herangezogen wird, werden die beiden Schubstangen durch die der Dampfmaschine ersetzt. Die schwierige Feststellung der genauen Länge der beiden Schubstangen gelang einwandfrei, so daß die Anlage seit zwei Jahren ohne Störung in Betrieb ist.

Den Antrieb einer Walzenstraße von 4250 PS durch Elektromotor und Zahngetriebe zeigen Abb. 3 bis 5. Das Übersetzungsverhältnis beträgt hier 360 : 80. Auch diese Anlage wurde ursprünglich durch eine Dampfmaschine angetrieben, die ebenfalls nach dem Umbau als Aushilfe dienen sollte. Der Motor ist mit der Ritzelwelle durch eine längsverschiebbare Kupplung verbunden, so daß sich das Ritzel kleinen Ungenauigkeiten der Verzahnung anpassen kann. Die Verbindung zwischen dem großen Rad und der anzutreibenden Kurbelwelle stellt ein Wellenstück her. Zwischen diesem und der Kurbel der Seilscheibenwelle ist

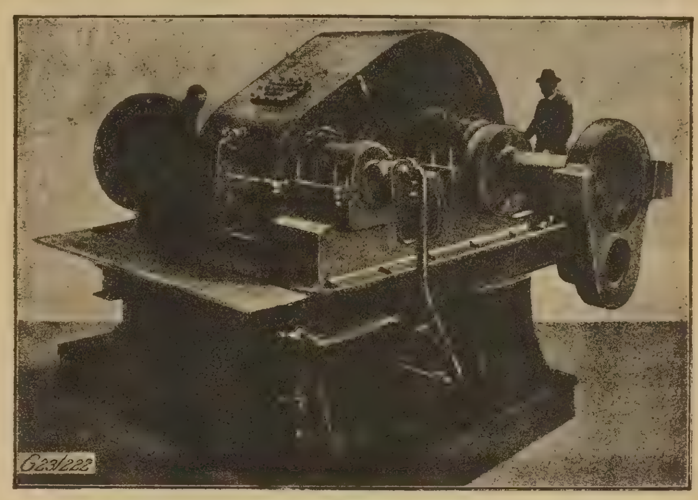


Abb. 5. Zahnradgetriebe zum Antrieb einer Drahtstraße durch Elektromotor.

ein Mitnehmerstück verschraubt, das den Kurbelzapfen büchsenförmig umspannt. Hierdurch wird das Drehmoment nicht nur durch die Verbindungsschrauben, sondern auch durch den Kurbelzapfen und die seitlichen Nasen übertragen. Soll die Walzenstraße durch die Dampfmaschine angetrieben werden, so wird zuerst das Kuppelstück ausgebaut, darauf das Mitnehmerstück von der Kurbelwelle abgenommen und die Schubstange der Dampfmaschine wieder eingehängt. („Maschinenbau" Bd. 3 Nr. 7 vom 10. Januar 1924.) [R 62] Sd.

Die Drehzahlverstellung in Stromerzeugungsanlagen.

Kraftmaschinen zum Antrieb von Gleichstrom- und Wechselstrom-Synchronerzeugern müssen gut regelfähig sein, d. h. die Energie ist den Kraftmaschinen so zuzuführen, daß plötzlich auftretende große Schwankungen der Belastung nur sehr geringe Drehzahländerungen nach sich ziehen. Dies wird durch die Steuerteile erzielt, auf welche ein geeigneter Fliehkraftregler einwirkt.

Die hierfür in Frage kommenden Regler, Muffen- oder Achsenregler, müssen statisch sein. Denn nur bei statischen Reglern wird durch Drehzahlsteigerung eine Erhöhung und durch Drehzahlverminderung eine Senkung der Muffe bewirkt und die davon abhängige Energiezufuhr unter Herstellung einer neuen Gleichgewichtlage vermindert oder erhöht. Bei entlasteter Maschine ergibt sich demnach die größte, bei höchstbelasteter die kleinste Drehzahl. Ist der hiernach berechnete Ungleichförmigkeitsgrad Null, so ist der Regler astatisch, also indifferent, ist er sehr klein, so ist der Regler pseudostatisch; solche Regler werden stets beim Antrieb von Synchrongeneratoren verwendet.

Beim Antrieb von Gleichstromerzeugern kann die mittlere Drehzahl des Reglers — die Nenndrehzahl — unveränderlich sein. Die Erzeugerspannung wird dann durch Änderung der Erregerstromstärke mittels Magnet- oder Nebenschluß-Reglers beeinflußt. Hierdurch wird der für das Parallelschalten erforderliche Ausgleich der Spannungen herbeigeführt, und die Last einer Gleichstromgruppe kann auf eine parallel laufende übernommen werden.

Schwieriger gestaltet sich das Parallelschalten von Synchronstromerzeugern. Hier genügt nicht die Gleichheit der Spannung an den Zuschaltstellen, da auch die zuzuschaltende Maschine mit der bereits speisenden Maschine oder mit dem Netz in Phase laufen muß. Gleichheit der Frequenz oder Gleichheit der Drehzahl und Phasendeckung müssen im Augenblick des Schaltens vorhanden sein, wenn man Maschinen und Schaltanlage nicht gefährden will.

Daß mit Rücksicht auf stabile Regelung eine Maschine mit fester Nenndrehzahl des Reglers im belasteten Zustande langsamer als im unbelasteten laufen muß, gilt sinngemäß auch für zwei Maschinen. Um

trotz dieser Bedingung Synchronismus herbeiführen zu können, muß man die Nenndrehzahl jeder Maschine in kleinen Grenzen um etwa ± 6 vH beeinflussen können. Dieses geschieht bei allen Muffenreglern durch Verändern der Muffenbelastung mit Hilfe von Laufgewichten oder Zusatzfedern. Das Verschieben der Laufgewichte, das Nach- oder Entspannen einer unmittelbar angreifenden Zusatzfeder oder Federwage, oder das Verlegen des Angriffspunktes einer Federwage unter gleichzeitiger Änderung ihrer Spannung, kann durch verschiedenartige Übertragungen mit der Hand oder motorisch erfolgen.

Da man beim Parallelschalten von Synchronstromerzeugern nur unter unmittelbarer Beobachtung der Spannungs- und Synchronisiergeräte mit dem Magnetregler die gewünschte Spannung herstellen und mit dem Kraftmaschinenregler die Phasendeckung herbeiführen kann, so müssen alle diese Einrichtungen von der Schalttafel aus bedient werden. Den hinter der Schalttafel aufgestellten Magnetregler kann man unmittelbar mittels des Handrades betätigen. Die Drehzahlverstellvorrichtung der Kraftmaschine treibt man am besten elektrisch

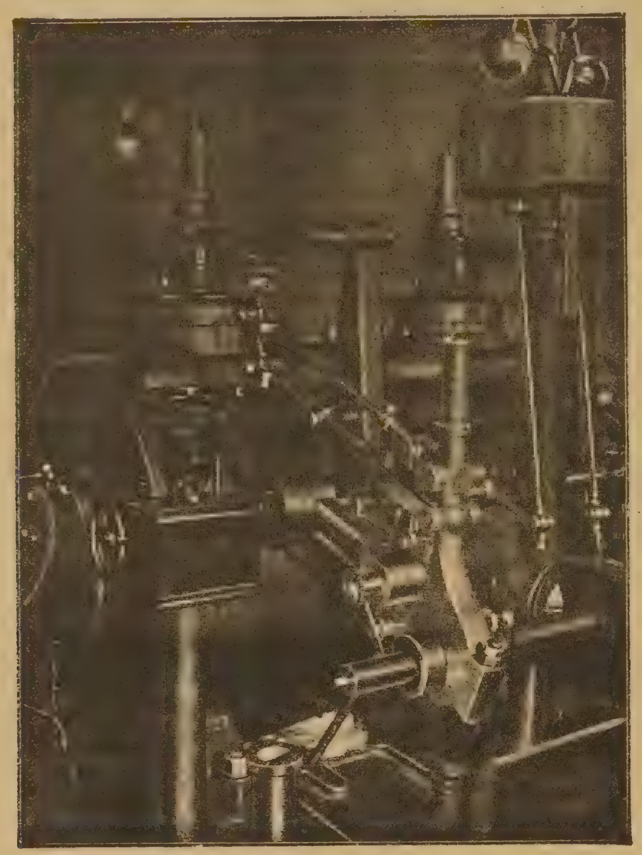


Abb. 6. Drehzahl-Verstellvorrichtung für eine liegende Dampfmaschine

an, weil sie sich dann mittels eines Umschalters auf der Schalttafel bequem betätigen läßt. Mit diesem Umschalter kann man auch von der Schalttafel aus die gesamte Kraftwerkbelastung auf die einzelnen Stromerzeuger verteilen.

Zum Antrieb der elektrisch betriebenen Drehzahlverstellvorrichtung benutzt man einen Umkehrmotor, der über ein kleines Getriebe auf den Regler einwirkt. Damit der Motor in der einen oder anderen Endstellung des Verstellzeuges nicht beschädigt wird, baut man entweder eine nach beiden Richtungen wirksame Rutschkupplung ein, die dem Motor gestattet, trotz Stillstands der Verstellspindel weiterzulaufen, oder man benutzt zwei Endschalter, die den Motor in den Endstellungen ausschalten. Da die Rutschkupplung Störungen veranlassen kann, sind sicher und augenblicklich wirkende Endschalter vorzuziehen. Um Schwierigkeiten, die dem Kraftmaschinenkonstrukteur beim Zusammenbau der elektrischen und der mechanischen Teile der Drehzahlverstellvorrichtung vielfach erwachsen, zu begegnen, hat die AEG eine neuartige Drehzahlverstellvorrichtung, Abb. 6, entworfen[1]).

Der auf dem Getriebekasten aufgebaute Motor, Abb. 7, wird in vier Größen für alle praktisch in Frage kommenden Stromarten und Spannungen geliefert. In der Regel wählt man einen Gleichstrommotor, der am besten durch die vorhandene Erregermaschine gespeist wird. Der Motor treibt mittels Lederscheibenkupplung ein Schneckenvorgelege. Der aus dem Rahmen vorragende Wellenstumpf der Schneckenradwelle kann je nach der Bauart der Steuerung mittel- oder unmittelbar mit der Regelspindel des Reglers verbunden werden.

Von der Schneckenradwelle wird über ein Vorgelege ein Schaltwerk angetrieben. Dieses besteht aus Schraubenspindel und Schaltmutter mit Anschlagstiften, die in den Endstellungen sorgfältig ausgebildete Augenblickschalter auslösen. Die elektrische Schaltung ist derart, daß der Motor zwischen den Endschaltern beliebig nach beiden Drehrichtungen gesteuert werden, aber nach Auslösung des einen Endschalters nur im entgegengesetzten Drehsinn wieder anlaufen kann. Nach wenigen Umdrehungen der Schraubenspindel wird der ausgeschaltete Endschalter durch Federkraft wieder selbsttätig eingelegt. Durch mehr oder weniger tiefes Einschrauben der Anschlagstifte kann man die Gesamtdrehzahl der Schneckenradwelle, und durch Wahl verschiedener Übersetzungen des Vorgeleges den Verstellbereich leicht ändern.

Damit man die Vorrichtung auch mit der Hand betätigen kann, ist auf der Schneckenradwelle ein Handrad angebracht. Das selbstsperrende Schneckengetriebe wird dabei mittels eines oben aus dem Gehäuse herausragenden Hebels ausgeschaltet. Das Zuführkabel schließt man mittels einer Klemmleiste auf der Grundplatte des Gehäuses an.

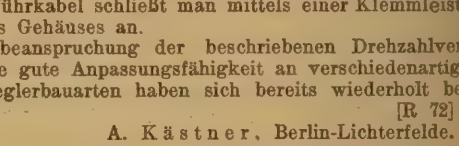


Abb. 7. Schaltbild für Gleichstrom.
A Drehzahlverstellvorrichtung, *B* Umschalter. *a* Motor, *b* Schneckengetriebe, *c* Schneckenrad- bzw. Handradwelle, *d* Schaltgetriebe, *e* Schaltspindel, *f* Wandermutter, *g* Endschalter, *h* Handrad, *i* Kupplungshebel, *k* Kupplung.

Die geringe Raumbeanspruchung der beschriebenen Drehzahlverstellvorrichtung und ihre gute Anpassungsfähigkeit an verschiedenartige Kraftmaschinen und Reglerbauarten haben sich bereits wiederholt bewährt. [R 72]

A. Kästner, Berlin-Lichterfelde.

Maschinenteile.

Formänderung eines gewölbten Bodens bei Innendruck.

In Heft Nr. 50 der Zeitschrift teilt C. v. Bach mit, daß Versuche im Gange sind, um die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen in gewölbten Böden der heute üblichen Form festzustellen, da man zu der Überzeugung gekommen ist, daß die Form mit einem großen Krümmungshalbmesser, der mit einem kleinen in den zylindrischen Teil übergeht, sehr ungünstig ist, und in der Krempe bedeutend höhere Beanspruchungen auftreten, als in dem schwach gewölbten Teil.

Die Versuche haben heute schon ergeben, daß in der Krempe eine etwa 4fache Beanspruchung auftritt. Elliptische Böden, bei welchen der Übergang allmählich ist, erhalten sich bedeutend günstiger. Solche Böden werden zurzeit von der Firma Julius Pintsch A.-G. hergestellt.

Ein Beispiel aus der Praxis für das Verhalten gewölbter Böden der üblichen Form gibt der Luftbehälter, Abb. 8 und 9, den eine Kesselschmiede für die Preßluftnietung für eigenen Bedarf im Jahre 1910 hergestellt hat. Der Behälter war für 10 at Betriebsdruck nach den Formeln für den Bau von Landdampfkesseln berechnet, und hatte bei 1600 m lichtem Durchmesser 13 mm Wanddicke im Mantel und 16 mm in den gewölbten Böden. Die Nietnähte waren dreifach überlappt. Dieser mit einem Sicherheitsventil für 10 at Höchstdruck versehene Behälter hat ohne Anstände bis zum Sommer 1919 im Betrieb gestanden. Beim Abbauen zeigte sich, daß der untere, nach innen gewölbte Boden zu schwach

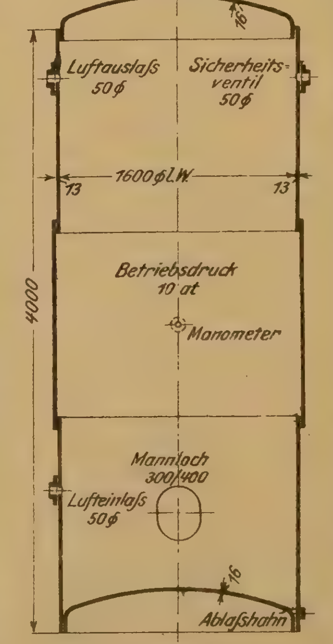


Abb. 8. Luftbehälter für 10 at Betriebsdruck.



Abb. 9. Formänderung des Unterbodens nach 9 Betriebjahren.

[1]) DRGM. Nr. 862140. Ausgestellt auf der diesjährigen Leipziger Frühjahrsmesse, Haus der Elektrotechnik, Stand der AEG.

gewesen ist und nachgegeben hat, wobei er bestrebt war, eine annähernd elliptische Form anzunehmen. Diese Formänderung muß nach und nach vor sich gegangen sein, denn man hatte im Lauf der neun Jahre kein Undichtwerden beobachtet. Die Formänderung des Bodens konnte nicht beobachtet werden, weil der Behälter mit dem unteren Teil im Fundament steckte.

Die Speisung des Behälters erfolgte durch einen einstufigen und einfachwirkenden Kompressor, der stark schlagend arbeitete und erst 1912 durch einen besseren ersetzt wurde. Bei 120 Uml./min müssen die Luftstöße wie Hammerschläge gewirkt haben, und daraus ist es zu erklären, daß der Unterboden, und zwar im schwächsten Teil, der kleinen Krempe, nachgegeben hat. Der 13 mm dicke Mantel hat, ohne Schaden zu leiden, an dieser Formänderung teilgenommen und sich kegelig verzogen. Diese Formänderung kam offenbar zum Stillstand, als der Boden eine Form angenommen hatte, die gleichmäßiger Beanspruchung in allen Teilen entsprach. Der Oberboden zeigte keine Formänderung.

Aus dem Verhalten dieses Bodens ist ersichtlich, daß die üblichen Formeln keine genügende Sicherheit für das Berechnen von gewölbten Böden bieten und dringend einer Berichtigung bedürfen. [R 171]

Dipl.-Ing. Karl Schiebl, Magdeburg.

Abwässerung.

Saugbagger für Klärschlamm.

Der seit vielen Jahren für Fluß- und Seebaggerei verwendete Frühlingsche Saugbagger eignet sich auch für Kläranlagen, die nach dem Sinkverfahren arbeiten, wenn die Schlammräume nicht durch Einbauten von den Klärräumen getrennt sind. Da der Schlamm dabei unter Wasser und während des Klärbetriebes entfernt wird, genügt im allgemeinen ein Becken zum Klären, das je nach den örtlichen Verhältnissen ringförmig oder rechteckig ausgeführt werden kann.

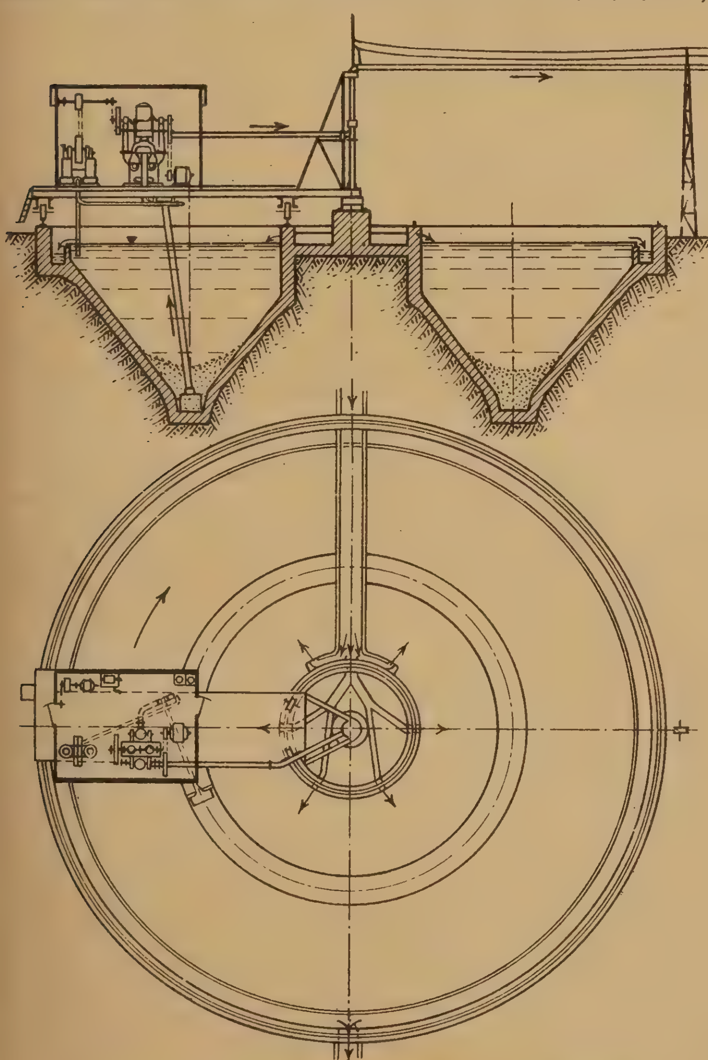


Abb. 10 und 11. Ring-Klärbecken mit Frühlingschem Saugbagger.

Das Ringbecken nach Abb. 10 und 11 erhält eine auf Schienen laufende, drehbare Brücke, die das Pumpenhaus trägt. In diesem treibt ein Elektromotor eine Schlamm- und eine Druckwasserpumpe an. Ein zweiter kleiner Motor treibt das Fahrwerk der Brücke. An das Saugrohr der Schlammpumpe ist der Saugbagger schwenkbar angeschlossen, der durch eine Handwinde vor Beginn des Baggerns in den Schlamm eingelassen wird. Der Frühlingsche Saugkopf gleitet entsprechend der Brückenbewegung in der Rinne im Grunde des Klärbeckens, an die sich je nach der Schlammbeschaffenheit mehr oder weniger steile Rutschflächen anschließen. Die Schlammdruckleitung ist auf dem Mittelpfeiler drehbar gelagert.

Der Schlamm wird in dickflüssigem Zustand gefördert. Gegebenenfalls wird durch die Druckwasserpumpe über dem Schlamm stehendes Wasser angesaugt und in den Saugkopf gedrückt. Der Fortschritt des Baggerns kann mittels eines am Saugwindkessel angebrachten Unterdruckmessers beobachtet werden. Dementsprechend wird die Brücke vorgeschoben. Ein Wasserdurchbruch nach dem Saugkopf wird durch dieses Vorschieben der Brücke und das dauernde Eindrücken des Kopfes in den dicken Schlamm vermieden.

An der Schlammdruckleitung ist ein kleiner Ablaßhahn mit Fangtrichter und Rücklaufrohr angebracht, damit man die Beschaffenheit des geförderten Schlammes erkennen kann. Wird zu Beginn des Baggerns zu dünnflüssiges Gemisch gefördert, so kann dieses durch eine besondere Rücklaufleitung dem Becken wieder zugeführt werden. Im allgemeinen kann die täglich anfallende Schlammenge in einigen Stunden gefördert werden. Es hat dann auch bei der größten Anlage nur ein Mann während weniger Stunden mit der Bedienung des Klärbeckens und dem Ausräumen des Schlammes zu tun.

In ähnlicher Weise werden auch rechteckige Klärbecken ausgeräumt. Zweckmäßig werden zwei lange und verhältnismäßig schmale Becken nebeneinandergelegt. Die fahrbare Brücke mit der Pumpenanlage überspannt beide Becken. An die feste Saugleitung der Schlammpumpe können zwei bewegliche Saugrohre angeschlossen werden, so daß die Becken abwechselnd ausgebaggert werden. Die feste Druckleitung erhält einige Anschlußstutzen und wird mit dem Druckstutzen der Schlammpumpe durch einen Metallschlauch oder ein Dreigelenkrohr verbunden. Eine derartige Anlage[1]) im sächsischen Steinkohlenbezirk entfernt in 4 h rd. 120 m³ Kohlenschlamm und drückt ihn in das 300 m entfernte und 30 m höher gelegene Filterhaus. Der aus der geklärten Trübe der Kohlenwäsche gewonnene Schlamm wird getrocknet und im Kesselhaus verfeuert.

Vorteilhaft erscheint beim Schlammsaugbagger, daß durch das Vorrücken des Saugkopfes der Schlamm in Bewegung gebracht wird und daher sicher nachrutscht. Da dem Schlamm im Saugkopf nur soviel Wasser zugesetzt wird, wie für das Fördern erforderlich ist, wird das Mitfördern von unnötigem Wasser vermieden und der Leistungverbrauch niedrig gehalten. Da sich keine Rohr- oder beweglichen Teile dauernd unter Wasser befinden, kann die Anlage dauernd in gutem Stand gehalten werden. [R 121] Fr.

Zementindustrie.

Rohbraunkohle für Zementfabriken.

In Heft 10 der „Braunkohle" vom 9. Juni 1923 weist Dr.-Ing. Berner nach, daß Zementfabriken, die frachtgünstig zu Braunkohlengruben liegen, durch Umstellen des Betriebes auf Braunkohle nicht nur die Brennstoffversorgung sicherstellen, sondern in vielen Fällen auch wirtschaftlich günstiger arbeiten können.

Die Zementfabrik braucht Brennstoff zur Energieerzeugung und zum Brennen in einem von der Beschaffenheit der Dampfmaschinen und der Verwendung von Dreh- oder Schachtöfen recht verschiedenen Verhältnis. Für mittelgute Maschinen und Drehofenbetrieb verhält sich der Wärmeverbrauch für Energieerzeugung und für das Brennen etwa wie 1 : 2. Bisher haben nur wenige Fabriken in der Nähe von Braunkohlengruben Braunkohle wenigstens für das Kesselhaus vorgezogen. Als geeignete Feuerungen kommen nur der Treppenrost und der Muldenrost in Frage. Ersterer ist gegen Brennstoffwechsel weniger empfindlich, letzterer bei starkem Grusgehalt vorteilhaft. Bei richtiger Einstellung und Bedienung können mit beiden höchste Wirkungsgrade erzielt werden. Ein Mischen von Braunkohle mit Steinkohle und Verfeuern auf dem Planrost hat sich nicht bewährt. Der Wirkungsgrad ist erheblich schlechter als bei getrenntem Verheizen auf geeigneten Rosten. Es ist deshalb richtiger, die Feuerung mindestens zum Teil für Braunkohle allein umzubauen. Bei Planrost-Unterwindfeuerung sinkt die Leistung um mindestens 30 vH beim Verfeuern von Braunkohle. Bei hohen Rostleistungen (über 200 kg/m²/h) ergeben sich Schwierigkeiten wegen übermäßiger Flugaschenbildung. Die Umstellung muß so vollkommen wie möglich sein; besonders ist zu achten auf:

1. ausreichende Rostfläche (Rostfläche zu Heizfläche mindestens 1 : 18),
2. ausreichende Zugstärke (ohne Heizgasvorwärmer mindestens 25, mit Heizgasvorwärmer 30 mm W.-S. im Fuchs),
3. genügende Abkühlung der Rauchgase durch Heizgasvorwärmer,
4. bequemes Entaschen und
5. Bekohlungsanlage.

Auch bei Sonderfeuerungen sind Rostleistungen über 200 kg/m²/h zu vermeiden.

Ungeeignet für solche Feuerungen ist nur eine Kohle mit ausgesprochen feinem Korn, die aber, getrocknet und vermahlen, nach dem heutigen Stande der Staubfeuerungen in solchen wirtschaftlich verfeuert werden kann.

Beim Drehofen hat man dem Steinkohlenmangel teils durch Beimischen von Braunkohlen-Brikettspänen zur Steinkohle (bis zu einem Drittel) und durch Umstellen auf Braunkohlen-Gasfeuerung zu begegnen gesucht. Staubfeuerungen wurden wegen vermeintlicher Feuer- und Zerknallgefahr nicht versucht. Oder man hielt es für unmöglich, mit Braunkohlenstaub die erforderlichen Brenntemperaturen zu erreichen.

[1]) Von O. Frühling, Kom.-Ges. a. A., Braunschweig, geliefert.

Bei Gasfeuerung ergeben sich aber ein ungünstiger Wärmeverbrauch durch das Zwischenschalten der Vergasung, die an sich schon einen Brennstoffverlust von etwa 30 vH bedingt, ferner ein Rückgang der Ofenleistung bis 30 vH und hohe Anlage- und Bedienungskosten für die Gaserzeuger. Für den Drehofen und wahrscheinlich für die meisten Ofenbetriebe ist die Staubfeuerung heute die beste und wirtschaftlichste Feuerung, wie u. a. die Versuche von Weiß & Häring an einem Blockwärmeofen zeigen, wo durch Umstellung von Braunkohlengas auf Braunkohlenstaub 60 vH Brennstoffersparnis erzielt wurden[1]. Bei um 150 bis 160 ° vorgewärmter Luft betrug die Temperatur in der Verbrennungskammer 1705 bis 1720 °. Die Brennstoffdüsen müssen für Braunkohlenstaub natürlich weiter sein als für Steinkohlenstaub. Wichtig ist ferner, daß die Braunkohle nicht zu weit vorgetrocknet und zu fein gemahlen wird, um unnötige Kosten zu vermeiden.

Die Braunkohlenasche hat im Hinblick auf die Beimischung zum Zement keine besonders nachteiligen Eigenschaften. Nachteilig kann überhaupt nur der SO_3- bzw. der Gipsgehalt sein. Durch Verändern der Rohmischung ist man übrigens in der Lage, etwaige ungünstige Wirkungen der Asche, bezüglich des Ansinterns in der Trommel oder der Beschaffenheit des Zements, auszugleichen. Braunkohlenasche ist ja neuerdings sogar als Bindemittel und als Streckmittel für Portlandzement (bis zu 50 vH) verwendet worden.

Braunkohle muß unter allen Umständen vor dem Vermahlen auf 16 bis 18 vH Wassergehalt vorgetrocknet werden. Bis jetzt werden meist Dampftrockner nach dem Vorbilde der Brikettfabriken in Form von Teller- oder Röhrentrocknern verwendet. Ein betriebsicherer Feuertrockner ist der Zellentrockner nach Abb. 12 bis 14. Der Rieseleinbau nach Abb. 14 bezweckt eine möglichst große und gleichmäßige Füllung über den ganzen Querschnitt und gleichzeitig eine große Angriffsfläche für die Heizgase, die die Trommel im Gleichstrom mit der Kohle durchziehen. Die Füllvorrichtung a, b und c füllt die Zellen gleichmäßig, während eine Stauvorrichtung bei d die Füllung und Durchgangsdauer während des Betriebes regelt. Sie dient auch zum Austragen der Trockenkohle.

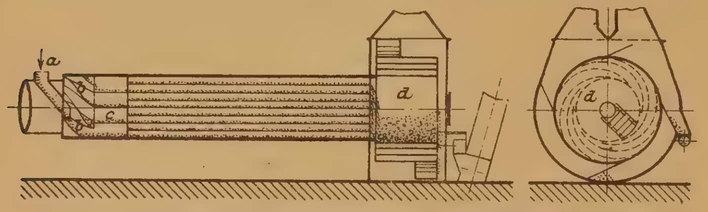


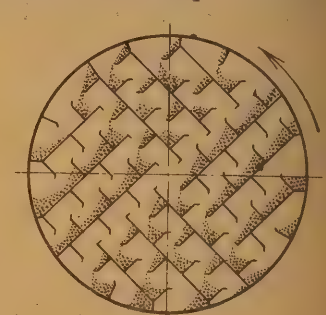
Abb. 12 und 13. Zellentrockner für Rohbraunkohle.

Die Trommel wird entweder durch eine besondere Feuerung oder durch Abgase von Kesseln oder Drehöfen beheizt. Die Gase werden durch einen Ventilator durch die Trommel gesaugt und dann in einen Schleuderstaubsammler gedrückt. Sie gelangen weiter in eine gemauerte Staubkammer und von dieser durch den Schornstein ins Freie. Unvollkommenes Entstauben verursacht beträchtliche Brennstoffverluste. Zur Volleistung des Trockners genügen 400 ° Eintrittemperatur, die auch bei eigener Feuerung nicht wesentlich überschritten werden dürfen. Mitgerissene Funken werden im ersten Teil der Trommel durch die nasse Kohle und die Brüden erstickt. Am Trommelende beträgt die Temperatur 80 bis 100 °. Der Wärmeverbrauch beträgt nach Versuchen von Weiß & Häring für 1 kg Wasserauftrocknung einschließlich aller Verluste rd. 1120 kcal bei einer Trommel, die in 24 h 31,5 t Rohkohle trocknete. Dampftrockner sind dementsprechend nur dann vorzuziehen, wenn man mit Abdampf trocknen kann.

[1] „Braunkohle" 1922 S. 625.

Über die erforderliche Mahlfeinheit sind die Ansichten noch verschieden. Jedenfalls braucht sie nicht so groß zu sein wie für Steinkohle. Während für diese auf dem 4900-Maschensieb nur 6 bis 10 vH Rückstände verbleiben dürfen, schwanken die Angaben für Braunkohle zwischen 10 bis 30 vH. Rohrmühlen erfordern größere Leistung als schnellaufende Kugel- oder Schleudermühlen. Bei 10 vH Rückständen erfordern 1000 kg/h Staub bei langsamlaufenden Mühlen 40 bis 50 PS, bei schnellaufenden Mühlen 30 bis 40 PS (bei 20 vH Rückständen 15 bis 20 PS).

Die Kosten der Feuertrocknung sind auch bei eigener Feuerung nur wenig höher als die Trocknung durch Maschinenabdampf. Sie lassen sich aber wesentlich verringern dadurch, daß man die Abgaswärme der Kesselanlage ausnützt. Von den etwa 25 vH Abwärmeverlusten in Zementfabriken können etwa drei Fünftel zum Trocknen ausgenützt werden. Mindestens die Hälfte der Feuerkohle kann durch Kessel- oder Ofenwärmeverwertung eingespart werden. Die erforderliche Zusatzfeuerung wird zweckmäßig auch als Staubfeuerung ausgebildet.


Abb. 14. Querschnitt der Trommel.

Noch günstiger wäre ein Verfahren, Trockenkohle durch Verschwelen der Rohkohle im Schweldrehofen zu erzeugen, wobei Grudekoks und Teer entstehen. Es lassen sich aber nur bitumenreiche Kohlen verarbeiten. Bei entsprechendem Teerpreis wird der Wärmepreis de Rohkohle und der Grude der gleiche, die letztere also gewissermaßen kostenlos hergestellt werden. Die Anlagekosten sind aber etwa fünfmal so hoch als beim Feuertrockner, und die Wirtschaftlichkeit ist vom Teerpreis abhängig und damit starken Schwankungen unterworfen.

Ein Trocknen der Kohle auf der Grube im Großbetrieb würde den Vorteil der Frachtersparnis haben, aber kaum wirtschaftlicher durchführbar sein als an der Verwendungsstelle.

Auf Grund von Berechnungen des Wärmepreises der Trockenkohle kommt Berner schließlich zu dem Ergebnis, daß für alle Zementfabriken, bei denen der Wärmepreis der Steinkohle über 23 bis 35 vH höher ist als der der Rohbraunkohle, die Umstellung auf Braunkohlenstaub die Brennkosten vermindert, so daß sie unbedingt anzuraten ist.

[R 131] Fr.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

Die Wasserstraßen, Häfen und Landeskulturarbeiten in Wirtschaft und Verkehr. Von E. Mattern. Leipzig 1922, Wilhelm Engelmann. 780 S. mit 97 Abb.

In dem Vorwort legt der Verfasser die Ziele, die ihm bei der Abfassung dieses Werkes vorschwebten, dar. Mit vollem Recht bemerkt er, daß der technischen Literatur ein Werk bisher fehlte, das zusammenfassend einen Anhalt gibt, wie man alle mit dem Ausbau unsrer Wasserstraßen und Häfen zusammenhängenden Fragen wirtschaftlicher Art beurteilen muß, wie man die technischen mit den wirtschaftlichen Lösungen vereinigt, wie man seinen wirtschaftlichen Blick schärft und die Erfordernisse, Voraussetzungen und Bedingungen erkennt, um eine einträgliche Arbeit zu liefern. Auf Grund seiner langjährigen in der preußischen Staatsbauverwaltung gesammelten Erfahrungen war Mattern wie wohl kaum ein zweiter in der Lage, eine derartige, recht schwierige Aufgabe zu lösen. Und er hat sie in vorzüglicher Weise gelöst.

Das umfangreiche Gebiet ist klar und übersichtlich in vier Hauptabschnitte gegliedert. Nach der Einleitung, in der auf einen geschichtlichen Rückblick eine knappe Darstellung der Wasserwirtschaftspolitik, der Einwirkung des Versailler sogen. Friedens auf die deutsche Wasserwirtschaft, der Zusammenhang zwischen der Verfassung des Deutschen Reiches vom 11. August 1919 und der deutschen Wasserwirtschaft, und ein Ausblick auf die Aufgaben und Ziele der Wasserwirtschaft folgen, werden in den beiden folgenden Abschnitten die Binnenwasserstraßen, die Häfen und Seewasserstraßen behandelt. Der vierte und letzte Abschnitt befaßt sich mit den Landeskulturarbeiten.

Der Schwerpunkt von Matterns Erfahrungen liegt auf dem Gebiet der Binnenwasserstraßen; es ist daher auch verständlich, daß dieser Abschnitt ausführlicher behandelt ist als die beiden folgenden. Die Ertragsberechnung für eine Hafenanlage ist im Grunde dieselbe wie für eine Wasserstraße. Die Einträglichkeit eines Binnenhafens hängt in erster Linie von der Leistungsfähigkeit der Wasserstraße ab, die dem Hafen den Verkehr zuführt, es war daher durchaus richtig, alle hiermit zusammenhängenden Fragen in dem Abschnitt über die Wasserstraßen zu erörtern.

Das Werk Matterns füllt tatsächlich eine recht empfindliche Lücke in unserer technischen Literatur aus. Der Studierende wird dem Verfasser dafür dankbar sein, daß er ihm die Wege gewiesen hat, wie man Fracht- und Verkehrsermittlungen, Kosten- und Ertragsberechnungen aufstellt. Alle diese eng zusammenhängenden Fragen bilden die Unterlage für die Beurteilung des Wirkungsgrades von Verkehrseinrichtungen. Der im praktischen Leben stehende Ingenieur, der sich vielleicht nur mit der rein technischen Seite der ihm gestellten Aufgaben zu befassen hatte, wird dem Studium des Matternschen Werkes manche wertvolle Anregung verdanken. [B 1922] G. de Thierry.

Radio im Heim. Von O. Kappelmeyer. Berlin 1924, August Scherl G. m. b. H. 120 S. m. 30 Fig. u. 20 Abb. Preis geh. Gm. 1,75.

Das soeben erschienene Werk des Ingenieurs Otto Kappelmayer behandelt allgemein verständlich alles Wissenswerte und Wissensnotwendige aus Theorie und Praxis der drahtlosen Telephonie für solche Leser, die sich einen Empfangsapparat im eigenen Hause aufstellen wollen. Es werden Mittel und Wege gezeigt, wie man die besten Empfangsverhältnisse erzielen kann. Darum sind auch alle aus dem deutschen Markt hervorgegangenen Empfangsapparate und deren Einzelteile eingehend besprochen, und nicht zuletzt legt die Darstellung Wert darauf, den Leser anzuleiten, wie er den Betrieb seiner Radioempfangsstation mit möglichst geringen Kosten durchführen kann. Das Verständnis des flüssig geschriebenen Buches wird durch zahlreiche Abbildungen im Text sehr wirksam gefördert. [B 180]

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 13 SONNABEND, 29. MÄRZ 1924 BD. 68

INHALT:

Zur Technik der Temperaturmessungen.

Von Dr.-Ing. Karl Hencky, Leverkusen.

Ausgehend von der durch den Einbau von Thermometern verursachten Temperaturstörung werden die sich daraus ergebenden Meßfehler bei Thermometerrohren berechnet, die in sehr vielen Fällen eine außerordentliche Größe erreichen. Die durch Wärmeentwicklung entstehenden Fehler sind als bekannt vorausgesetzt, für die bisher nicht behandelte Wärmeableitung sind die allgemein geltenden Formeln entwickelt und die praktischen Folgerungen für die Meßtechnik gezogen worden.

Einleitung.

Die Temperaturstörung als Grundlage der praktischen Temperaturmessung.

Bei der Temperaturmessung in der Technik wird in erster Linie der Hauptwert auf die geeignete Wahl der „Vorrichtungen zur Temperaturmessung“ gelegt. Dieser Standpunkt hat sich seitens der Thermometer herstellenden Industrie bis heute erhalten, und so steht durch die Fortschritte der Glastechnik und des elektrischen Meßwesens eine außerordentlich große Auswahl an Instrumenten zur Verfügung, die wohl kaum wesentlich vervollkommnet werden können.

Diese ganz im Sinne der Technik des Messens liegende Entwicklung hat zwar hinreichende Möglichkeiten geschaffen, „Temperaturen richtig“ zu bestimmen, sie genügt aber weitaus nicht, um die „richtigen Temperaturen“ zu messen. Denn jedes Meßgerät stört den Wärmestrom, in den es eingesetzt wird, und man mißt infolgedessen nicht die ursprünglich vorhandene, also die gewünschte „richtige Temperatur“, sondern die „gestörte Temperatur“, diese allerdings fehlerfrei. Die Messung der richtigen Temperatur erfordert ein Eingehen auf das um ein Meßinstrument sich bildende Temperaturfeld und einen danach gewählten „Einbau des Thermometers“. Neben den „äußeren Vorrichtungen“ zur Temperaturmessung — das sind die Meßgeräte selbst — muß daher in maßgebender Weise auch den „inneren Vorrichtungen“, d. h. dem sachgemäßen Einbau der Thermometer Beachtung geschenkt werden.

Die nachfolgenden Betrachtungen werden sich deshalb ausschließlich auf die „inneren Vorrichtungen“ beziehen, also die Temperaturstörung zur Grundlage der Temperaturmessung haben. Sie sollen eine wesentliche und wichtige Ergänzung zu einem bereits früher erschienenen Buche[1]) bilden und die Theorie der Temperaturstörung vervollständigen helfen.

Die Störungen der Temperatur, die beim Einbau eines Thermometers vorkommen und unbewußt oder bewußt zu der Messung einer nicht gewünschten Temperatur führen, entstehen auf zweierlei Art: durch den Wärmeaustausch des Thermometers oder seiner Armatur infolge von Strahlung oder durch Wärmeleitung in der Armatur oder dem Thermometer. Der Strahlungsaustausch kann durch die genannte Literatur als hinreichend erläutert und zahlenmäßig belegt gelten. Sämtliche spätere Arbeiten behandeln dieses Gebiet ebenfalls, vor allem hinsichtlich der konstruktiven Verwirklichung brauchbarer Einbauarten.

Die vorliegende Schrift verzichtet daher auf die Behandlung der auf dem Strahlungsaustausch beruhenden Temperaturstörungen und widmet sich ausschließlich dem theoretisch und versuchsmäßig kaum noch behandelten Wärmeaustausch durch Leitung in der Armatur und im Thermometer. Die Betrachtungen zerfallen in die Behandlung des Wärmeaustausches zwischen Gas oder Flüssigkeit und Armatur sowie zwischen der Armatur und dem darin eingeschlossenen Thermometer.

[1]) Osc. Knoblauch u. K. Hencky: Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen, München und Berlin 1919, R. Oldenbourg. Z. 1920 S. 217.

I. Teil.

Der Wärmeaustausch zwischen Gas oder Flüssigkeit und Armatur.

A. Völlig versenkte Thermometerrohre.

Der einfachste und fast normale Fall des Einbaues von Thermometern in unter Druck stehende Leitungen ist das Thermometerrohr. Wir wählen ein solches für die theoretische Behandlung aus und denken uns das Thermometerrohr völlig in die Leitung versenkt, also ohne herausragende Teile.

Abb. 1 enthält die schematische Skizze einer solchen Anordnung.

1. Grundgleichung des Temperaturfeldes.

Für die Berechnung der Temperaturverteilung im Thermometerrohr und um dasselbe sei angenommen, daß kaltes Gas oder kalte Flüssigkeit von der Temperatur t_g an den heißen Wandungen, in denen das Thermometerrohr befestigt ist, vorbeiströmt. Es wird alsdann Wärme in den Wandungen nach der Befestigungsstelle des Thermometerrohres — die Temperatur sei hier t_0 — fließen und von dem Thermometerrohr an das Gas oder die Flüssigkeit übergehen. Die Temperatur nimmt ständig bis zum Endquerschnitt des Thermometerrohres ab und hat dort den Wert t'. Diese Temperatur t' ist es, die vom Meßgerät angezeigt werden soll, sie ist aber nur unter gewissen Bedingungen gleich der Temperatur des Gases. Der für die Wärmeabgabe erforderliche Temperaturunterschied $(t' - t_g)$ stellt daher den Meßfehler dar.

Unter der Annahme, daß eine Wärmeableitung vom Thermometerrohr nach innen, also etwa zum Thermometer, nicht stattfindet, kann man folgende Gleichungen aufstellen:

In einer beliebigen Eintauchtiefe x strömt durch den Querschnitt des Thermometerrohres q im Längendifferential dx die Wärmemenge Q

$$Q = \lambda q \frac{dt}{dx} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1)$$

wenn λ die Wärmeleitzahl in kcal/m h °C des Rohrmateriales ist.

Von der Oberfläche dieses Differentials wird von dem Gas oder der Flüssigkeit die Wärmemenge dQ abgegeben:

$$dQ = \alpha d \pi dx (t - t_g) \quad \ldots \ldots \ldots (2)$$

wenn t die Temperatur in der Eintauchtiefe x und d der äußere

Durchmesser des Thermometerrohres ist. Daraus folgt die Differentialgleichung

$$\frac{d^2 t}{d x^2} = \frac{\alpha\, d\, \pi}{\lambda q}(t - t_g) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3).$$

Ihre Lösung ist:

$$(t - t_g) = C_1 e^{Ax} + C_2 e^{-Ax} \quad \ldots \ldots \ldots (4),$$

worin $A = \sqrt{\frac{\alpha\, d\, \pi}{\lambda q}}$, C_1 und C_2 die Integrationskonstanten sind.

Diese bestimmen sich aus den Grenzbedingungen:

für $x = 0$ wird $t = t_0$,
„ $x = l$ „ $t = t'$.

Das Temperaturgefälle im Enddifferential des Thermometerrohres, also bei $x = l$, ist nach Gl. (4)

$$\frac{d t}{d x} = C_1 A e^{Al} - C_2 A e^{-Al} \quad \ldots \ldots \ldots (5).$$

Die im Enddifferential strömende Wärmemenge Q_l wird durch die Fläche F vom Gas oder der Flüssigkeit aufgenommen. Es ist

$$Q_l = \alpha F (t' - t_g) \quad \ldots \ldots \ldots (6),$$

und mit Gl. (1) wird

$$\frac{d t}{d x} = \frac{\alpha F}{\lambda q}(t' - t_g) = C_1 A e^{Al} - C_2 A e^{-Al} \quad \ldots \ldots (7).$$

Nach einiger Umformung errechnet sich daraus der Temperaturunterschied zwischen dem Gas oder der Flüssigkeit und dem Ende des Thermometerrohres:

$$(t' - t_g) = \frac{2\,(t_0 - t_g)}{(1 - B)\, e^{Al} + (1 + B)\, e^{-Al}} = \varphi\,(t_0 - t_g) \quad \ldots (8).$$

Darin bedeutet

$$B = \frac{\alpha F}{\lambda q A} = F \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda q\, d\, \pi}}; \quad A = \sqrt{\frac{\alpha\, d\, \pi}{\lambda q}} \quad \ldots \ldots (8a).$$

Gl. (8) war aufgestellt unter der Annahme, daß t bzw. t_0 größer als t_g ist, d. h. ein kaltes Gas oder eine kalte Flüssigkeit in einem von außen erwärmten Rohre strömt. Für den umgekehrten Fall, daß $t_g > t_0$, also heißes Gas in kalten Rohren strömt, bleibt Gl. (8) gültig, es ändern sich nur die Vorzeichen der Temperaturdifferenzen.

Gl. (8) zeigt schon auf den ersten Blick folgende allgemeinen Zusammenhänge, welche an Hand von Beispielen später zahlenmäßig belegt werden sollen.

1. Die Größe der Temperaturstörung $(t' - t_g)$ oder der darauf begründete Meßfehler ist direkt proportional dem Temperaturunterschied zwischen Gas oder Flüssigkeit und der Rohrwandtemperatur.

2. Der Meßfehler wird mit zunehmender Eintauchtiefe beschleunigt kleiner.

3. Je größer die Konstante A ist, desto kleiner wird der Meßfehler. Es tritt also eine Verkleinerung des Fehlers ein, wenn

a) die Wärmeübergangzahl α groß,
b) die Wärmeleitfähigkeit λ des Materials klein und
c) das Verhältnis von Umfang des Thermometerrohres zu Wandquerschnitt $\frac{d\pi}{q}$ groß ist.

Der Einfluß der Größe B ist weniger leicht ersichtlich und soll später erläutert werden, ebenso bleiben die Folgerungen für die praktische Ausgestaltung der Thermometerrohre vorbehalten.

Vor Eingehen auf die zahlenmäßige Auswertung und auf Einzelbeispiele müssen noch an die Größe der Temperatur t_0 einige Betrachtungen angeschlossen werden. Entsprechend der Wärmezuführung durch das Thermometerrohr muß die Temperatur t_0 niedriger sein als die Temperatur der Wand t_w, in die das Rohr eingesetzt ist. Die Temperatur t_w ist in den meisten Fällen bekannt oder leicht auszurechnen. Setzt man nun näherungsweise $t_w \approx t_0$, was wohl in den meisten Fällen zulässig ist, so kann φ und damit der Meßfehler bestimmt werden, er wird unter dieser Annahme etwas höher als in Wirklichkeit.

2. Zahlenmäßige Auswertung der Grundgleichung und die Maßnahmen zur Vermeidung der Meßfehler.

a) Einfluß der Eintauchtiefe und der Wärmeübergangzahl.

Um die große Zahl von Abhängigkeiten, die in Gl. (8) niedergelegt sind, für eine bessere zahlenmäßige Übersicht einzuschränken, soll hinsichtlich der Maße des Thermometerrohres von obigen Regeln bereits Gebrauch gemacht und diese im Hinblick auf eine kleine Temperaturstörung gewählt werden. Es sei angenommen:

Äußerer Durchmesser der Thermometerrohre $d = 0{,}012$ m,
Wandstärke $\delta = 0{,}002$ m, demnach $q = 62{,}8 \cdot 10^{-6}$ qm,

Wärmeleitzahl $\lambda = 60 \frac{\text{kcal}}{\text{m h °C}}$ (Eisen),

$F = \frac{d^2 \pi}{4} = 113 \cdot 10^{-6}$ qm.

Mit diesen Zahlenwerten kann nun der Einfluß der Wärmeübergangzahl α und der Eintauchtiefe l rechnerisch ermittelt werden. Das Ergebnis ist in den Kurvenblättern, Abb. 1 und 2,

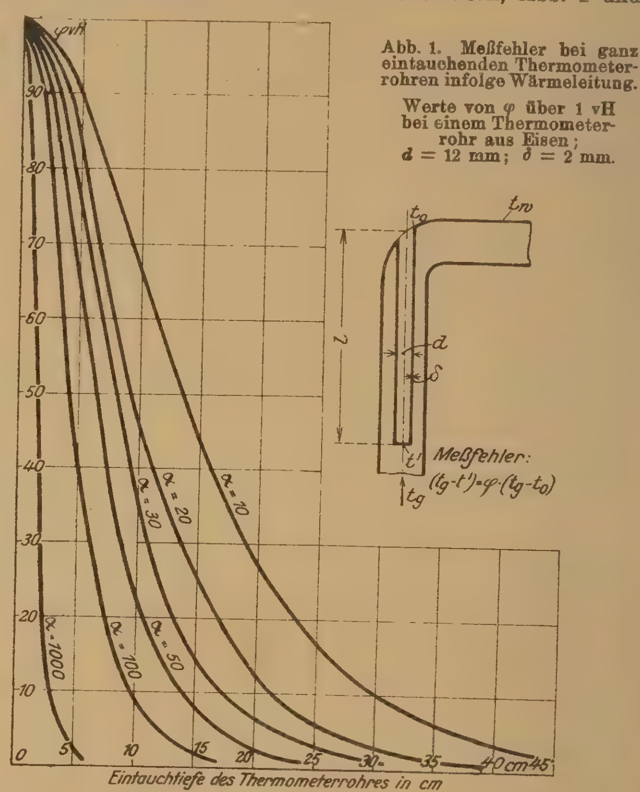


Abb. 1. Meßfehler bei ganz eintauchenden Thermometerrohren infolge Wärmeleitung.
Werte von φ über 1 vH bei einem Thermometerrohr aus Eisen; d = 12 mm; δ = 2 mm.

graphisch dargestellt. Auf der Abszisse sind die Eintauchtiefen, auf der Ordinate die für verschiedene Wärmeübergangzahlen α geltenden φ-Werte aufgetragen, die nach Gl. (8) ein direktes Maß für die Meßfehler $(t' - t_g)$ sind. Abb. 1 gibt die φ-Werte über 1 vH und Abb. 2 die φ-Werte unter 1 vH wieder.

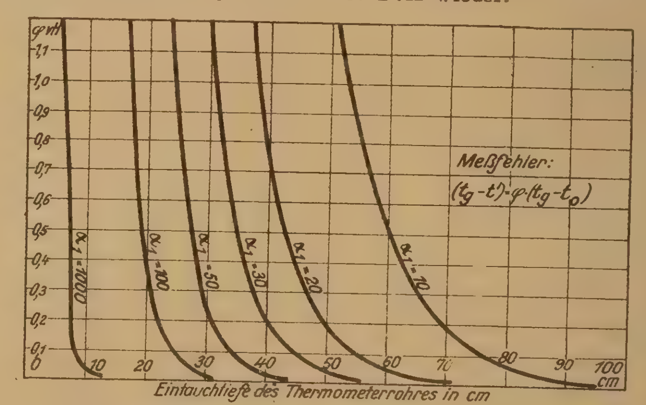


Abb. 2. Meßfehler bei ganz eintauchenden Thermometerrohren infolge Wärmeleitung.
Werte von φ unter 1 vH bei einem Thermometerrohr aus Eisen; d = 12 mm; δ = 2 mm.

Beispiel.

In einer eisernen Heißwindleitung von 60 mm Dmr. soll die Temperatur der Luft von $t_g = 200$ °C gemessen werden, die Luftgeschwindigkeit sei 5, 10 und 30 m/s. Das Thermometerrohr sei in der vielfach üblichen Weise schräg eingesetzt und 50 mm lang[1]).

Für den Fall des nicht isolierten Rohres ist:

bei	5	10	30 m/s
$\alpha =$	19	32	76 $\frac{\text{kcal}}{\text{qm h °C}}$;
ferner ist $t_w \approx t_0 =$	138	157	179 °C.

[1]) Diese Annahmen sind zum Zweck des Vergleiches der Strahlungs- und Leitungsfehler ebenso gewählt, wie in den Beispielen des Buches Oeo, Knoblauch und K. Hencky: Temperaturmessungen.

Aus dem Kurvenbild der Abb. 1 folgt (wieder für 5, 10 und 30 m/s)

$\varphi = 0{,}83 \quad 0{,}73 \quad 0{,}53.$

Daraus ergeben sich die Meßfehler

$(t_g - t') = 51{,}5^0 \quad 31{,}4^0 \quad 11\,^0$C.

Will man die Temperatur der Luft auf etwa 0,5 °C genau messen, so berechnen sich für $(t_g - t') = 0{,}5$ °C die erforderlichen Werte von φ

bei	5	10	30 m/s
	$\varphi = 0{,}0081$	0,0116	0,024.

Unter Benutzung des Kurvenbildes, Abb. 1 und 2, folgt dann die erforderliche Eintauchtiefe l des Thermometerrohres

$l = 42 \quad 30 \quad 18$ cm.

Ist die Heißwindleitung gut isoliert, etwa 6 cm dick mit einem Isoliermittel von $\lambda_i = 0{,}06$, so wird

bei	5	10	30 m/s
	$t_w \approx t_0 = 183$	190	195,6 °C
	$\alpha = 18$	31	74 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}\,^0\text{C}}$
und			
	$\varphi = 0{,}85$	0,74	0,54
	$(t_g - t') = 14{,}5$	7,4	2,4 °C.

Will man sich auch hier mit einer Genauigkeit der Messung von 0,5 °C begnügen, so muß sein:

$\varphi = 0{,}03 \quad 0{,}05 \quad 0{,}11$

und die Eintauchtiefe

$l = 34 \quad 22 \quad 11$ cm.

Aus diesem der Praxis entnommenen Beispiel ergibt sich, daß die Meßfehler teilweise außerordentlich hoch sind. Der Wärmeschutz einer Rohrleitung, und sei es nur ein örtlicher an der Meßstelle, verringert ihn erheblich.

Für Leitungen mit überhitztem Dampf ($\alpha = 50$ bis 300) und Wasser ($\alpha \approx 1000$) sind die Verhältnisse etwas günstiger, in keinem Fall aber darf der Einfluß der Wärmeableitung vernachlässigt werden.

b) Einfluß der Wärmeleitfähigkeit des Materials.

Von dem gleich großen Einfluß wie die Wärmeübergangzahl ist auch die Wärmeleitfähigkeit der Wandungen des Thermometerrohres. Dies erhellt aus folgendem:

Die Hilfsgröße A ist proportional $\sqrt{\alpha}$ und $\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$, ebenso die Hilfsgröße B. Daraus folgt, daß eine Verdoppelung der Wärmeleitzahl ebenso wie eine halb so große Wärmeübergangzahl wirkt.

Für die zahlenmäßige Bestimmung des Einflusses von λ kann man daher ebenfalls Abb. 1 und 2 benutzen, indem man für eine bestimmte Eintauchtiefe l die Größe φ für einen α'-Wert entnimmt, wobei

$$\alpha' = \frac{\lambda}{\lambda'}\,\alpha = \frac{60}{\lambda'}\,\alpha$$

ist.

War z. B. bei $\lambda = 60$ und $\alpha = 60$ $\varphi = 0{,}17$ ($l = 25$ cm), so wird für ein kupfernes Rohr ($\lambda' = 360$) der Wert $\alpha' = \frac{60}{360} \cdot 60 = 10$ und $\varphi' = 0{,}44$.

Aus dem Beispiel erhellt, daß man ein Material von geringer Wärmeleitzahl wählen soll. Nachstehend sind einige Wärmeleitzahlen angegeben:

Kupfer	$\lambda = 260$ bis 360
Aluminium	170
Messing	70 bis 95
Eisen	40 „ 60
Nickel, Rotguß	50
Neusilber	25
Porzellan	0,9
Glas	0,6

c) Einfluß der Form des Thermometerrohres.

Die Form des Thermometerrohres ist in Gl. (8) durch das Verhältnis

$$\frac{\text{Umfang}}{\text{Querschnitt}} = \frac{u}{q}$$

dargestellt. Beim einfachen zylindrischen Rohr ist

$$\frac{u}{q} = \frac{(d_m + \delta)\,\pi}{d_m\,\pi\,\delta} = \frac{1}{\delta} + \frac{1}{d_m},$$

wenn d_m der mittlere Wanddurchmesser und δ die Wanddicke ist.

Je kleiner nun der Durchmesser und je geringer die Wandstärke ist, desto größer wird $\frac{u}{q}$ und damit A und φ.

Um beim einfachen Rohr den Einfluß zahlenmäßig übersehen zu können, kann man wiederum Abb. 1 und 2 und ein gedachtes α'' benutzen. Läßt man den Außendurchmesser, also u ungeändert und ändert δ um in δ', so bleiben die Hilfsgrößen A und B ungeändert, wenn

$$\alpha'' = \frac{\delta}{\delta'}\,\alpha = \frac{0{,}002}{\delta'}\,\alpha$$

gewählt wird.

Es war z. B. $\alpha = 20$, und es wurde $\delta' = 0{,}5$ mm gewählt; dann gibt Abb. 1 die φ-Werte für ein

$$\alpha'' = \frac{0{,}002}{0{,}0005}\,\alpha = 80$$

richtig wieder. Bei $l = 15$ cm ist z. B.

für $\delta = 2$ mm $\quad \varphi = 0{,}26$
und „ $\delta' = 0{,}5$ „ $\quad \varphi' = 0{,}04$.

Verändert man sowohl den Umfang u als auch den Querschnitt q, ersteren aber mehr als den letzteren, etwa durch Aufsetzen von Rippen, so kann man den bei ganz kleiner Wandstärke noch verbleibenden Fehler weiterhin verringern.

d) Einfluß der Abschlußfläche des Thermometerrohres.

Der nicht ganz einfach zu übersehende Einfluß von B und hauptsächlich der darin enthaltenen Fläche F soll an Hand charakteristischer Beispiele klar gelegt werden.

Die Fläche F war mit $113 \cdot 10^{-6}\,\text{m}^2 = \frac{d^2\,\pi}{4}$ angesetzt worden, sie stellt bei einem zylindrischen Rohr die kleinstmögliche Fläche dar. Wählt man den Abschluß des Rohres halbkugelförmig, so wird $F' = 2\,\frac{d^2\,\pi}{4} = 2\,F$. Diese Veränderung soll untersucht werden.

	F	$F' = 2\,F$
a) kleine Wärmeübergangzahl: $\alpha = 10$		
$l = 0{,}05$ m	$\varphi = 0{,}362$	$\varphi = 0{,}680$
$l = 0{,}5$ m	$\varphi = 0{,}140$	$\varphi = 0{,}143$
b) große Wärmeübergangzahl: $\alpha = 1000$		
$l = 0{,}02$	$\varphi = 0{,}374$	$\varphi = 0{,}63$
$l = 0{,}10$	$\varphi = 0{,}0013$	$\varphi = 0{,}0023$

Aus den beiden Zahlentafeln ersieht man, daß der Einfluß von F je nach der Wärmeübergangzahl verschieden ist.

B ist nämlich bei kleinem α eine sehr kleine Zahl und vermag daher die Werte φ wenig zu beeinflussen, erst mit zunehmendem α wächst B. Man kann daher folgende Regeln aufstellen:

1. Der Abschluß des Thermometerrohres soll eine möglichst kleine Fläche F haben.

2. Der Einfluß der Fläche F auf den Meßfehler ist nur bei ganz niedrigen Wärmeübergangzahlen vernachlässigbar klein, er wächst bedeutend bei großen α-Werten; bei $\alpha = 10$ bewirkt eine Verdoppelung der Fläche eine Vergrößerung des Meßfehlers auf das nur 1,02- bis 1,03fache, bei $\alpha = 1000$ auf das 1,8fache.

e) Einsetzen des Thermometerrohres in die Wand.

Für die Beurteilung der günstigsten Einführung des Thermometerrohres sind die Verhältnisse maßgebend, die die Höhe der Temperatur des Thermometerrohres t_0 an der Einführungsstelle bestimmen.

Für die weiteren Betrachtungen sei der Fall eines heißen Gases vorausgesetzt, welches Wärme durch die Rohrwandungen abgibt, die Temperatur der letzteren (t_w) ist daher kleiner als die Gastemperatur t_g. Außerdem ist auch t_0 größer als t_w, aber kleiner als t_g, und zwar wird t_0 um so näher an t_g liegen, je größer der Widerstand für die Wärmeabfuhr aus dem Thermometerrohr oder je kleiner die Verbindungsfläche zwischen dem Thermometerrohr und dem gasdurchströmten Rohr ist. Wenn irgend möglich, sollte daher die metallische Verbindung durch Zwischenschalten einer isolierenden Muffe unterbrochen werden. Wo dies wegen des Leitungsdruckes nicht angängig, ist das Einschweißen die beste Art; voluminöse Verschraubungen sind ungünstig, auch deshalb, weil Teile des Thermometerrohres an die kalte Außenluft grenzen und die Möglichkeit zur Wärmeableitung noch weiterhin vergrößern, es sei denn, daß man die Verstärkungen der Rohrwand nicht nach außen, sondern in das Innere des Rohres ragen läßt.

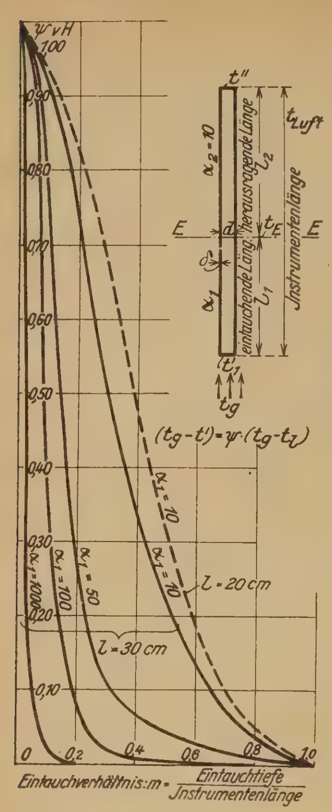


Abb. 3. Meßfehler teilweise herausragender Thermometerrohre infolge Wärmeleitung.
Werte von ψ bei einem Thermometerrohr von $d = 12$ mm, $\delta = 2$ mm.

In allen Fällen ist das gasführende Rohr wenigstens an der Meßstelle und in der nächsten Umgebung gut zu isolieren, um t_w und damit auch t_0 möglichst der Gastemperatur t_g zu nähern.

B. Teilweise herausragende Thermometerrohre.

In weitem Umfange sind in der Technik auch Instrumente, vor allem Thermoelemente und Widerstandsthermometer, im Gebrauch, deren Armatur bei der Messung teilweise in die Luft herausragt und dadurch Gelegenheit zur Wärmeableitung nach außen gibt. Es soll daher auch dieser Fall rechnerisch geprüft werden. Dabei ist aber vorausgesetzt, daß zwischen dem Thermometerrohr und der Wandung, durch die es eingeführt ist, kein Wärmeaustausch erfolgt.

1) Grundgleichung des Wärmestromes.

In Abb. 3 ist das schematische Bild der gedachten Anordnung dargestellt. Unterhalb der Linie $E—E$ nimmt das Thermometerrohr Wärme vom Gas mit der Temperatur t_g auf, oberhalb gibt es Wärme an die Außenluft von der Temperatur t_l ab. Unter Benutzung der früheren Bezeichnungen, jedoch mit der Indexunterscheidung 1 für die Größen des eintauchenden Teiles und 2 für diejenigen des austauchenden Rohres, ist die Temperaturdifferenz zwischen Gas und eintauchendem Ende des Thermometerrohres, also der Meßfehler

$$(t_g - t') = \frac{2\,(t_g - t_E)}{(1 - B_1)\,e^{A_1 l_1} - (B_1 + 1)\,e^{-A_1 l_1}} = \varphi_1\,(t_g - t_E) \quad (9),$$

wenn t_E die Temperatur des Rohres an der Eintauchstelle (Linie $E—E$) ist.

Für die Wärme abgebende Seite gilt entsprechend

$$(t'' - t_l) = \frac{2\,(t'' - t_E)}{(1 - B_2)\,e^{A_2 l_2} - (1 + B_2)\,e^{-A_2 l_2}} = \varphi_2\,(t'' - t_E) \quad (10).$$

Da ferner die aufgenommene Wärme Q_1 gleich der abgegebenen Wärme Q_2 ist, folgt noch

$$Q_1 = Q_2.$$

Q_1 und Q_2 errechnen sich aus Gl. (4), für die zylindrische Oberfläche des Rohres. Nimmt man zur Vereinfachung an, daß die Flächen F_1 und F_2 klein sind gegenüber der ganzen Rohroberfläche, so kann man den durch diese bewirkten Wärmeaustausch in der Gleichung der Wärmebilanz vernachlässigen. Nach einigen Umformungen wird die Gleichung der Wärmebilanz

$$\frac{\alpha_1}{A_1}\,(t_E - t') = \frac{\alpha_2}{A_2}\,(t'' - t_E) \quad \ldots \ldots (11)$$

und daraus

$$t_E = \frac{\alpha_1 A_2 t' + \alpha_2 A_1 t''}{\alpha_1 A_2 + \alpha_2 A_1} \quad \ldots \ldots (11a).$$

Die Auswertung der so gewonnenen drei Gleichungen liefert folgende Schlußgleichung für die Größe des Meßfehlers:

$$(t_g - t') = \frac{A_1\,\alpha_2\,\varphi_1\,(1 - \varphi_2)}{A_2\,\alpha_1\,(1 - \varphi_1) + A_1\,\alpha_2\,(1 - \varphi_2)}\,(t_g - t_l) \quad \ldots (12)$$

oder

$$(t_g - t') = \psi\,(t_g - t_l) \quad \ldots \ldots (12a).$$

Der durch das Herausragen eines Teiles verursachte Fehler wird Null, wenn $l_2 = 0$ wird, und er ist gleich $(t_g - t_l)$, wenn $l_1 = 0$ ist. Bei dieser letzteren Folgerung aus Gl. (12) kommt zum Ausdruck, daß F_1 in der Gleichung der Wärmebilanz vernachlässigt wurde. Diese Ungenauigkeit der Gl. (12) hat aber praktisch keine Bedeutung, da man l_1 stets größer als l_2 wählen muß, um nennenswerte Fehler zu vermeiden.

2) Auswertung der Gleichung.

Für die zahlenmäßige Auswertung der Gl. (12) und (12a) seien zunächst die gleichen Maße des Thermometerrohres angenommen, wie im Abschnitt A. Die Wärmeübergangzahl kann etwa $\alpha_2 = 10$ gesetzt werden.

a) Einfluß des Eintauchverhältnisses und der Wärmeübergangzahl.

Da zwischen den Längen l_1 und l_2 die Beziehung $l_1 + l_2$ = konst. besteht, soll noch das Eintauchverhältnis m

$$m = \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

eingeführt und in Abhängigkeit davon die Größe des Meßfehlers dargestellt werden. Abb. 3 zeigt das Ergebnis der Formelauswertung für verschiedene Werte von α_1 bei einer Gesamtlänge des Thermometerrohres von 30 cm.

Aus Abb. 3 kann man folgende Regeln ablesen:

1) Der Meßfehler verringert sich mit Vergrößerung des Eintauchverhältnisses; bei niedrigen Wärmeübergangzahlen α_1 bedeutet ein nur geringes Herausragen des Meßgerätes noch nennenswerte Fehler.
2) Der Meßfehler verringert sich ferner in zunehmendem Maße bei großen Wärmeübergangzahlen, er wird aber erst bei $\alpha_1 = 1000$ für die üblichen Eintauchverhältnisse vernachlässigbar klein, bleibt also bei Messungen im überhitzten Dampf, in Luftleitungen und Rauchgaskanälen wohl zu beachten.
3) Bei gleichem Eintauchverhältnis verursacht das Thermometerrohr von größerer Gesamtlänge den kleineren Fehler (vergl. die gestrichelte Kurve $(l_1 + l_2 = 20\text{ cm})$ und die ausgezogene $(l_1 + l_2 = 30\text{ cm})$ in Abb. 3 für $\alpha_1 = 10$.
4) Bei gleicher Eintauchtiefe l_1 gibt das kürzere Thermometer den kleineren Fehler.

b) Einfluß der Wärmeabgabe am herausragenden Teil.

Verringert die vermehrte Wärmezufuhr am eintauchenden Teil den Meßfehler, so tritt dies in gleichem Maße bei verringerter Wärmeableitung am herausragenden Teil ein.

Hat z. B. das Thermometerrohr — wie meist üblich — einen außenliegenden Klemmenkopf, so wirkt dieser stark abkühlend. Um aus Abb. 3 ungefähr den Fehler entnehmen zu können, muß man den Fehler für ein entsprechend kleineres Eintauchverhältnis wählen, indem man etwa die Fläche des Kopfes in der äquivalenten Rohrlänge ausdrückt. Selbstverständlich wirkt eine besondere Kühlung des Kopfes sehr stark fälschend auf die Temperaturmessung ein.

Wird der herausragende Teil mit Seidenzopf, Glaswollstreifen oder andern Materialien während der Messung isoliert, so wird der Fehler sehr klein. Es sei z. B. für die Isolierung $\lambda_i = 0{,}06$, $\delta = 2$ cm; dann kann $\alpha = 3$ gesetzt werden.

Es ergeben sich dann folgende ψ-Werte:

Instrumentenlänge 30 cm	ohne Isolierung $\alpha_2 = 10$	mit Isolierung $\alpha_2 = 3$
$\alpha_1 = 10 \quad m = 0{,}5$	0,24	0,0875
$\alpha_1 = 10 \quad m = 0{,}75$	0,055	0,010

Der Wert der Isolierung geht daraus klar hervor. Es sollten demnach bei den Instrumenten des Handels mindestens die Klemmenköpfe an der Außenseite eine Isolierung aus Hartgummi oder andern Stoffen haben. Unter Umständen kann auch die metallische Verbindung zwischen Thermometerrohr und Klemmenkopf unterbrochen werden.

c) Einfluß der Form des Thermometerrohres.

In Abb. 3 ist die Wanddicke zu 2 mm angenommen worden; sie sei für den Zweck des Zahlenvergleiches mit nur 1 mm ausgeführt.

Es ergeben sich dann z. B.

für $m = 0{,}5$; $l_1 + l_2 = 30$ cm

folgende ψ-Werte:

	$\alpha_1 = 10$	$\alpha_1 = 50$
bei 2 mm Wanddicke	0,22	0,042
„ 1 mm „	0,13	0,0045

Die Abhängigkeit der ψ-Werte von den im Teil A angegebenen φ- und A-Werten läßt die über die Form des Thermometerrohres dort gegebenen Regeln sinngemäß auf den Fall des herausragenden Thermometerrohres übertragen.

Mit den vorliegenden Betrachtungen sind die charakteristischen Hauptfälle von Meßfehlern durch Wärmeableitung in den Thermometerarmaturen behandelt: mit ihrer Hilfe gewinnt man auch ein Urteil über die ungefähre Größe der Fehler in andern Fällen. Die Erkenntnis der Ursache der Temperaturstörungen führt in den meisten Fällen leicht zu Maßnahmen, um sie für die Zwecke der Messung ganz oder teilweise unwirksam zu machen.

II. Teil.

Der Wärmeaustausch zwischen Thermometerrohr und Thermometer.

Bei den Betrachtungen des I. Teiles war angenommen worden, daß vom Thermometerrohr aus eine Wärmeabgabe zum Thermometer nicht stattfinden soll, und daß außerdem die Temperatur t' am tiefsteintauchenden Teil des Thermometerrohres es ist, die vom Thermometer gemessen wird. Diese für die theoretische Berechnung erforderliche Voraussetzung trifft nun in der Praxis nicht in vollem Umfange zu, und es ergeben sich daraus weitere Fehlermöglichkeiten.

A) Meßgeräte ohne Wärmeableitung.

Ziemlich einfach liegen die Verhältnisse bei Meßgeräten ohne wesentliche Wärmeableitung, es sind dies vor allem alle Arten von Glasthermometern. Bei diesen müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

1) Der temperaturempfindliche Teil des Thermometers soll möglichst die Temperatur t' der Abschlußfläche F_1 anzeigen, es ist daher im allgemeinen ein großes nach der Längsrichtung des Thermometerrohres sich erstreckendes Gefäß mit Thermometerflüssigkeit zu vermeiden. Denn die Temperatur längs des Rohres sinkt sehr stark, man würde also nicht t', sondern einen niedrigeren Mittelwert messen.

   Aus dem gleichen Grunde soll das Thermometerrohr zum Zwecke des Wärmeaustausches mit dem Thermometer nicht höher mit Öl oder ähnlichen den Wärmeaustausch begünstigenden Stoffen gefüllt werden, als zum Eintauchen des Thermometergefäßes gerade notwendig ist. Die Thermometer können im vorliegenden Falle demnach nur wenig in die zu messende Temperatur eintauchen, haben also einen sehr langen, herausragenden Faden, zu dem entgegen der üblichen Auffassung auch noch der im Thermometerrohr befindliche Teil der Kapillare gehört. Zur Bestimmung der Fadenkorrektur eignet sich hier das Mahlkesche Thermometer ganz besonders gut, ja es ist wohl die einzige Möglichkeit zur richtigen Feststellung der Fadenkorrektion des Thermometers.

2) Zur Feststellung des Fehlers der Wärmeableitung im Thermometer gelten genau die gleichen Betrachtungen wie beim Thermometer nach Teil I, Abschnitt B. Da aber die Wärmeleitzahl des Glases 100mal kleiner als die des Eisens ist, die Wandstärke etwa 0,5 mm beträgt, wird der Fehler der Wärmeableitung außerordentlich klein; es kommt noch hinzu, daß die Wärmeübertragung zum Thermometer sehr gut ist. Denkt man sich z. B. das Thermometer mit wenig Spiel in das Thermometerrohr eingesetzt, so ist
   für den in Öl tauchenden Teil $\alpha = 200$ bis 500,
   für die aus dem Öl herausragenden Teile $\alpha = 20$ „ 50.

B) Meßgeräte mit Wärmeableitung.

Zu den Meßgeräten mit Wärmeableitung gehören alle elektrischen Thermometer, also Thermoelemente und Widerstandsthermometer. Zunächst gelten für diese alle Gesichtspunkte wie für das Glasthermometer. Da das Widerstandsthermometer stets einen größeren Raum für seinen temperaturempfindlichen Teil beansprucht, ist es gegenüber dem Thermoelement im Nachteil und verhält sich wie das Glasthermometer. Es gibt nicht die Temperatur t' an, sondern eine je nach Baulänge niedrigere. Das Thermoelement dagegen wird von der Temperatur t' allein beeinflußt, vor allem, wenn das Thermometerrohr in diesem Falle spitz zuläuft (kleine Fläche F, siehe I. Teil A 2 d).

Dieser grundsätzliche Unterschied zwischen Thermoelement einerseits, Widerstands- und Flüssigkeitsthermometer anderseits läßt sich meßtechnisch dadurch ausgleichen, daß die Eintauchtiefe des Thermometerrohres im Sinne der angegebenen Formeln nicht von der Abschlußfläche F, sondern von der Mitte des temperaturempfindlichen Teiles gerechnet wird, das ist z. B. beim Thermoelement der Lötkopf, beim Flüssigkeitsthermometer die Mitte des Quecksilbergefäßes.

Über diese in der örtlichen Ausdehnung des temperaturempfindlichen Teiles des Thermometers begründete Fehlermöglichkeit hinaus besteht noch ein weiterer Fehler der Wärmeableitung durch die Zuführdrähte. Es gelten wenigstens in qualitativer Hinsicht hier genau die Verhältnisse wie bei teilweise herausragenden Thermometerrohren.

Die von den Drähten abgeführte Wärmemenge ruft eine Temperaturdifferenz zwischen Thermometerrohr und Thermometer hervor, die um so kleiner ist, je besser die Wärmeübertragung zwischen den beiden wird. Starke Isolierschichten zum Schutz der Drähte vor mechanischen Beschädigungen, Einschmelzen der Drähte in Glas wirkt demnach durchaus schädlich. Die wärmeaufnehmende Oberfläche muß im Verhältnis zum wärmeleitenden Querschnitt möglichst groß sein.

Leider lassen sich alle diese Maßnahmen in ihrem Einflusse quantitativ nur schwer und dann unter praktisch nicht voll zutreffenden Verhältnissen errechnen, nur systematische Versuche können die zweckmäßigste Bauart ergeben; die im Handel befindlichen Instrumente sind zweifellos keine solche Lösung; an ihrer Wiege haben wärmetechnische Erwägungen meist nicht gestanden.

Schluß.

Die allgemeine Bedeutung richtiger Temperaturmessung für die Technik.

Angesichts der nachweisbar großen Fehlermöglichkeiten bei der Temperaturmessung, hervorgerufen durch die Art des Einbaues der Instrumente und die dabei auftretende Wärmeableitung, wird die restlose Beseitigung dieser Fehler, die weitere Förderung der Erkenntnisse auf diesem Gebiet in theoretischer und experimenteller Hinsicht, ihre Anwendung seitens der thermometerherstellenden Industrie und seitens der zahlreichen sich mit Temperaturmessungen beschäftigenden Ingenieure und Chemiker eine um so dringlichere Aufgabe, je verfeinerter die Konstruktionsverfahren der verschiedensten thermischen Einrichtungen werden. Es handelt sich bei der neueren Fehlertheorie des Thermometereinbaues nicht um Fehler in der Größenordnung der Eichkorrektur der Instrumente als solche, sondern um Fehler, die das 10-, 100- und mehrfache desselben sind.

Man darf daher ohne große Übertreibung sagen, daß in der Technik ein großer Teil der bisherigen Temperaturmessungen mit außerordentlichen Fehlern behaftet ist. Es ergibt sich außerdem, daß diese Fehler nicht etwa gleich groß sind, also in relativer Übereinstimmung zueinander stehen. Sie sind vielmehr in jedem Falle anders und fälschen in mehr oder minder großem, zudem meist nachträglich auch für den Kundigen nicht mehr bestimmbaren Maße die aus den Messungen gezogenen Folgerungen. Mit Recht wird deshalb bei Forschungsarbeiten auf die Einwandfreiheit der Messungen gesehen, von ihr sind ja auch die ersten Anregungen für Verbesserungen des Einbaues von Thermometern ausgegangen. Es muß aber auch die weite Praxis größte Genauigkeit nicht nur in relativem, sondern absolutem Sinne anstreben, wenn der Gedanke der Großzahlforschung, welche die vielen Meßergebnisse der Praxis zusammenfassen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten herausarbeiten will, nicht auf Irrwege führen soll.

Erhöhung der elektrischen Leistung von Wasserkraftanlagen.

In der Zeitschrift „Power“ Bd. 58 vom 16. Oktober 1923 gibt R. Brown von der Great Western Power Co. eine Übersicht über die verschiedenen Maßnahmen, die man zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Wasserkraftanlagen treffen kann.

Wenn infolge hohen Gefälles oder aus andern Gründen die Höchstleistung der antreibenden Turbine größer als die der Dynamo ist, so daß man die Abschlußorgane des zur Turbine führenden Rohres nicht ganz öffnen kann, ist eine Steigerung der Höchstleistung des Stromerzeugers auf verschiedene Arten erreichbar. Man kann am Polrad Lüftschaufeln anbringen, außerdem in das Ständergehäuse Lüftlöcher bohren. Als noch wirksamere Kühlung wird in Übereinstimmung mit ähnlichen Einrichtungen bei Dampfturbodynamos vorgeschlagen, daß man einzelne Gebläse oder eine ganze Luftkühlanlage verbunden mit Luftreinigung einbaut.

Bei Antrieb der Freistrahlturbinen kann die Lüftung der Dynamo dadurch verstärkt werden; daß das Gehäuse des ruhenden Ankers mit dem Turbinengehäuse verbunden wird; hierdurch benutzt man den im Turbinengehäuse durch das ausströmende Wasser entstehenden luftverdünnten Raum zum Luftansaugen für den Stromerzeuger. Da hauptsächlich die Temperatur die Leistung der elektrischen Maschine bestimmt, muß vor allen Dingen ein genauer Temperaturanzeiger, etwa in Verbindung mit Thermoelementen, die in den Spalten zwischen den oberen und unteren Wicklungen anzubringen sind, vorhanden sein. [M 83] Sd.

Zur Frage der Turbolokomotive.

Von Oberingenieur O. T. Post, Schladern a. d. Sieg.

Es wird die Möglichkeit der Anwendung der Kondensation auf Lokomotiven besprochen und die zu erwartende Ersparnis an Kohle einer Turbolokomotive gegenüber einer normalen Kolbenmaschine erörtert. Vergleich einer Turbolokomotive mit einer preußischen P 8, Gewichte und Konstruktionseinzelheiten der Turbolokomotive. Hilfsmaschinen für die Abführung der Rauchgase und Luftabsaugung aus dem Kondensator. Ausgeführte Turbolokomotiven, ihre Vor- und Nachteile. Vorwärmung in Stufen; Erhöhung des Wirkungsgrades; Verkleinerung der an die Luft abgeführten Wärmemenge.

Allgemeine Gesichtspunkte.

Daß der gewaltige Fortschritt, den die Technik durch die Ausbildung der Turbine auf dem Gebiete des Dampfmaschinenbaues in den letzten Jahrzehnten zu verzeichnen hat, bisher nur wenig Einfluß auf den Lokomotivbau zeigte, ist natürlich. Der Grund hierfür liegt darin, daß einmal unsere modernen Lokomotiven ganz vorzüglich durchgebildete und auch sehr sparsame Maschinen darstellen, ferner Schwierigkeiten bestehen, die moderne Dampfmaschine, die Turbine mit ihrem Zubehör einschließlich Kondensation in dem beschränkten Raume unterzubringen und genügende Kühlmittel zum Niederschlagen der großen Dampfmenge unter geringem Kraftaufwand heranzuziehen. Der Gedanke, auch für Lokomotiven unter Benutzung der Luftverdünnung größeres Wärmegefäll auszunutzen, ist bereits vor vielen Jahren aufgetaucht und geprüft worden. Damals beabsichtigte man, Lokomotiven gewöhnlicher Bauart mit einem zur Erzeugung des Unterdruckes ausgerüsteten Kondensator zu versehen. Daß sich die Ausführung dieses Gedankens nicht so einfach gestaltete, leuchtet ohne weiteres ein. Einmal ist es fast unmöglich, Packungen von Stopfbüchsen für hohen Unterdruck auf Lokomotiven dauernd dicht zu halten, ferner eignet sich das ölhaltige Kondensat für unmittelbare Kesselspeisung nicht, ein Umstand, der für die Verwendung der Kondensation von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist. Des weiteren ist bei Kolbenlokomotiven infolge der engen Dampfkanäle die Erzielung eines großen Nutzens aus hoher Luftverdünnung von vornherein ausgeschlossen.

Mit der Entwicklung der Turbine, die sich für Kondensationsbetrieb und für hohes Vakuum ganz besonders eignet, wurde schon frühzeitig der Gedanke an eine mit Kondensation arbeitende Turbolokomotive wach. Bis vor wenigen Jahren bot die Konstruktion einer Anzahl von Einzelheiten, wie Turbine, Übersetzungsgetriebe und Kondensation, erhebliche Schwierigkeiten. Heute aber dürfte wenigstens der eigentliche Antrieb einer Turbolokomotive keiner der Firmen, die sich mit Turbinenbau beschäftigen, Sorgen machen. Die noch zu lösende Hauptaufgabe liegt offenbar in der Ausführung des Kondensators.

Infolge des Fehlens von Kühlmitteln großer Dichte sind verschiedentlich Entwürfe ausgearbeitet worden, bei denen die Luft mittelbar oder unmittelbar zur Dampfverdichtung herangezogen worden ist. So haben Ramsay in England, Escher-Wyhs in der Schweiz und Ljungström in Schweden sich schon seit einigen Jahren mit dem Bau dieser Sondereinrichtungen beschäftigt und Turbolokomotiven ausgeführt[1]).

Nach den Ersparnissen an Kohle zu urteilen, die die Turbinen in ortfesten Maschinenanlagen gegenüber der Kolbenmaschine gebracht haben, erscheint es geboten, daß die technische Wissenschaft und Industrie mit Ernst an den Bau von Turbolokomotiven herantritt. Gerade in der heutigen Zeit, wo Kohle im deutschen Wirtschaftsleben eine so gewaltige Rolle spielt und ihre Beschaffung nicht wenig zum Niedergang unserer Währung beigetragen hat, sind viele geneigt, zu glauben, daß durch Einführung der Turbolokomotive gewaltige Mengen Brennstoff gespart werden können. Die Rechnung bestätigt auch die Annahme. Doch sind für die Wirtschaftlichkeit außerdem auch der Anschaffungspreis sowie die unzweifelhaft hohen Unterhaltkosten zu berücksichtigen.

Zunächst muß angeführt werden, daß an so tiefliegende Unterdrücke im Kondensator, wie sie bei ortfesten Anlagen üblich sind, nicht zu denken ist. Infolge der Einschränkung, die uns die Wärmeabfuhr durch Luft aufzwingt, müssen wir uns im Jahresdurchschnitt mit rd. 80 vH Luftleere begnügen. Bei flüchtiger Betrachtung wäre durch die Ausnützung einer solchen Luftverdünnung eine bedeutende Dampfersparnis gegenüber atmosphärischem Auspuff zu erwarten. Das *JS*-Diagramm für Wasserdampf zeigt beispielsweise bei einem Anfangsdruck von 12 at abs., 350° Temperatur und Expansion auf 1 at abs ein Wärmegefälle von 125 kcal/kg, bei Expansion auf 0,2 at abs hingegen ein solches von 182,5 kcal/kg. Somit würde die zu erwartende Ersparnis, unter Berücksichtigung des besseren Wirkungsgrades, der bei der Turbine erreicht werden kann, 40 vH betragen. In Wirklichkeit aber ist es erforderlich, die Turbolokomotive mit einer Anzahl von Hilfseinrichtungen auszustatten, die eine beträchtliche Menge Dampf verbrauchen und die zu erwartende Ersparnis herabdrücken. Hierbei ist nicht einmal berücksichtigt, daß die Bewegungswiderstände der Turbolokomotive größer sind als die einer Kolbenlokomotive gleicher Leistung; dieser Umstand wird nur von wenigen der Firmen, die sich mit der Frage beschäftigt haben, von vornherein berücksichtigt, ist aber für die Wirtschaftlichkeit der Anlage von allergrößter Bedeutung. Um die Bewegungswiderstände klein zu halten, ist es geboten, die Gewichte der einzelnen Teile niedrig zu bemessen, das zu übertragende Drehmoment auf nur so viel Achsen zu verteilen, wie für den bestimmten Betrieb unbedingt erforderlich sind; denn eine Ersparnis von rd. 30 vH Kohlen rechtfertigt nicht den Bau einer Turbolokomotive, die um das Zweifache teurer ist als eine Kolbenlokomotive. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine solche Maschine würde zu ihren Ungunsten ausfallen.

[1]) s. Z. Bd. 65 (1921) S. 1294; Bd. 66 (1922) S. 851 und 1060; Bd. 67 (1923) S. 557.

Hilfsmaschinen.

Da der Abdampf statt in die Luft in einen Kondensator geleitet wird, ist für die Versorgung des Rostes mit Luft bzw Sauerstoff ein besonderes Gebläse erforderlich. Zweckmäßig wird dieses durch eigenen Turbinenbetrieb betätigt und vom Führer oder selbsttätig, den Anforderungen entsprechend, eingestellt. Eine Lokomotive modernster Bauart, z. B. die der Reihe P 8, verbraucht 1,08 kg/PS_eh Kohle. Bei normaler Leistung von durchschnittlich 600 PS verzehrt sie also 648 kg/h Kohle. Bei einer höchsten Dauerleistung von 1350 PS errechnet sich der Kohlenverbrauch der P 8 zu etwa 1400 kg/h. Wird die bei Turbinenbetrieb auf 50 vH geschätzte Ersparnis berücksichtigt, so muß die Höchstleistung des Gebläses für die Belüftung des Rostes immerhin noch groß genug angenommen werden, um eine Kohlenmenge von 700 kg/h zu verbrennen. Hierfür sind etwa 13 300 m³ Luft von atmosphärischer Temperatur oder 20 000 m³/h Luft von 160° erforderlich. Bei einem Unterdruck von 180 mm WS wird eine Hilfsmaschine von 27 PS Leistung gebraucht, um die Auspuffwirkung der Kolbenlokomotive zu ersetzen.

Desgleichen erfordert der Ventilator für die Kondensation, gleichgültig ob Oberflächen- oder Rieselkühlung, viel Kraft. Zum Niederschlagen einer Dampfmenge von 8000 kg/h in einem luftgekühlten Oberflächenkondensator wird beispielsweise eine Luftmenge von rd. 600 000 m³/h gebraucht, für die Bewältigung einer solchen Menge ist ein Ventilator von bedeutender Leistung erforderlich. Aufgabe des Konstrukteurs ist, diese Hilfsmaschine möglichst wirtschaftlich auszuführen. Es liegt in seiner Hand, selbst bei einer so großen Luftmenge die Leistung klein zu halten, indem Luftgeschwindigkeit und Luftreibungswiderstände an allen Stellen auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Immerhin wird es schwer fallen, bei unserm begrenzten Eisenbahnprofil die Luftmenge mit einer Geschwindigkeit zur Lokomotive von weniger als 16 m/s durch den Kondensator zu bewegen. Unter günstigsten Umständen wird der Kraftbedarf des Ventilators noch etwa 100 PS betragen.

Weitere Hilfsmaschinen, die für die Turbolokomotive in Frage kommen, sind der Luftejektor, die Kondensatpumpe, die Kesselspeisepumpe und die Pumpe für die Luftdruckbremse. Die Leistung dieser Maschinen ist jedoch gering, ihr Dampfverbrauch beträgt insgesamt etwa 400 kg/h. Unter günstigsten Verhältnissen verbrauchen die Hilfsmaschinen etwa 1500 kg/h Dampf oder 18,8 vH der gesamten erzeugten Dampfmenge. Diese Zahlen weisen darauf hin, daß die Vorteile der Turbolokomotive gegenüber einer Kolbenlokomotive bei Nichtberücksichtigung aller Umstände, die den Lokomotivbetrieb wirtschaftlich gestalten, gänzlich verschwinden können.

Gesichtspunkte beim Entwurf — Wirtschaftlichkeit.

Ljungström hat, um eine einigermaßen gute Wirtschaftlichkeit zu erreichen, seine Lokomotive für hohen Kesseldruck von 18 at abs ausgebildet und sie ferner mit einem Verbrennungsluftvorwärmer ausgerüstet, der die Temperatur der Abgase ausnützt. Die Verwendung vorgewärmter Luft unter dem Rost, eine Maßnahme, die bei ortfesten Maschinenanlagen bereits des öfteren durchgeführt worden ist, wird eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades der Anlage hervorrufen. Für eine Anlage dieser Art gestaltet sich die Wirtschaftlichkeitsrechnung, wenn nicht

glänzend, so doch immerhin vergleichbar mit der einer neuzeitlichen Kolbenlokomotive.

Die oben angeführten Zahlen der Kesseldauerleistung und des Dampfverbrauches der Hilfsmaschinen müssen als Grundlage für die Beurteilung einer Lokomotive dienen, die die in Preußen bevorzugte Personenzug-Lokomotive P 8 in jeder Beziehung ersetzen könnte. Die P 8 ist mit einem Kessel ausgerüstet, der eine Dauerleistung von 10 200 kg/h hergeben kann, d. h. etwa 1360 PS_i bei 90 km/h Geschwindigkeit. Vorübergehend kann der Kessel für eine Dampferzeugung von etwa 12 t und eine Leistung von 1600 PS_i benutzt werden. Die Maschine ist aber für jetzt gebräuchliche Zuggewichte zu schwach.

Bei Verwendung von Getriebeturbinen und Kondensation sowie geringer Erhöhung des Dampfdrucks auf 16 at abs würde eine Kesseldauerleistung von 8000 kg/h genügen, um die Leistung der P 8 zu übertreffen. Bei einem Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen von 1500 kg/h verbleiben für die Hauptturbine 6500 kg/h. Bei einem verfügbaren Wärmegefälle von 192,5 kcal/kg, wie es bei einem Dampfdruck von 16 at abs., 350 ° Dampftemperatur und 80 vH Luftleere im Kondensator zur Verfügung steht, beträgt der spezifische Dampfverbrauch der Turbine 4,21 kg/PSh. Diese Zahl bezieht sich auf die Leistung der Turbine, an der Blindwelle des Zahnradvorgeleges gemessen, etwa entsprechend der Zylinderleistung der Kolbendampfmaschine. Einschließlich Hilfsmaschinen beträgt also der Dampfverbrauch 5,2 kg/PSh. Eine solche Turbolokomotive erweist sich demnach im Vergleich mit der P 8, bei der im günstigsten Falle 7,75 kg/PS_ih erzielt werden können, recht vorteilhaft.

Wären die Bewegungswiderstände der beiden Lokomotiven die gleichen, so würde sich hieraus ohne weiteres eine Ersparnis von 35 vH ergeben. Dieser Wert stellt einen Höchstbetrag dar. Der durchschnittliche Gewinn beträgt nur 32 vH, eine Zahl, die des weiteren gekürzt werden muß, weil die Eigenwiderstände der Turbolokomotive größer sind als die der P 8. Nun ist aber die vorgeschlagene Lokomotive leistungsfähiger und ferner die Verbrennung und Wärmeübertragung durch gute Ventilation verbessert, sodaß eine Verminderung des Kohlenverbrauches um rd. 40 vH, bezogen auf die Nutzleistungseinheit, erzielt wird. Berücksichtigt man den Gewinn, der durch Ausnutzung der hohen Abgastemperaturen zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und des Speisewassers erreicht wird, so erhält man ohne weiteres das gleiche Ergebnis, wie es von Ljungström in der Fach- und Tagespresse veröffentlicht worden ist.

Untersuchungen über die Gewichtsverhältnisse der Turbolokomotive haben ergeben, daß selbst bei geringem Wasservorrat von 2 t und einem Kohlenvorrat von 5 t das Dienstgewicht der Maschine 116 t beträgt. Beim Entwurf muß es Aufgabe des Konstrukteurs sein, die Vorteile, die die Turbine im ortfesten Betrieb in bezug auf Gewicht- und Raumersparnis gebracht hat, auch hier zur Geltung zu bringen. Die Lokomotive sollte gedrängter, leichter und übersichtlicher gebaut werden können als eine Kolbenlokomotive. Unter gewissen Umständen läßt sich dies auch verwirklichen, z. B. wird sich der Bau, Ersatz P 8, zweckmäßig als 2 C 2-Fahrzeug ausführen lassen. Hierbei ist die Anordnung so gedacht, daß die Lokomotive mit dem gelüfteten Oberflächenkondensator voranfährt. Hinter dem Kondensator befinden sich die Hauptturbinen und das Getriebe mit der federnden Blindwelle, die ihre Kraft mittels Kuppelstangen auf drei Treibachsen überträgt. Der Führerstand ist hinter den Turbinen und der Kessel hinter dem Führerstand angeordnet. Für Unterbringung der Kohlen ist der Raum oberhalb des Getriebes oder an der Seite des Kessels vorgesehen.

Diese Anordnung ergibt vielen andern gegenüber eine sehr gute Gewichtverteilung. Allerdings ist es notwendig, die Achsbelastung sowohl der Drehgestelle als auch der Treibachsen um ein Geringes gegenüber den jetzt in Preußen gebräuchlichen Werten zu erhöhen. Gerade dieser Umstand ist für die Turbolokomotive, die trotz kleinerer Kesselleistung eine etwa 20 vH größere Leistung ergibt als die P 8, von Vorteil, weil mit drei Treibachsen etwa die Nutzleistung der neueren P 10 erzielt werden kann, wozu auch die geringen Bewegungswiderstände der C-gekuppelten Lokomotive beitragen. Die Leistung einer solchen Turbolokomotive liegt im Mittel um 21,9 vH höher als die der P 8 und der Dampfverbrauch um etwa 18 vH niedriger. Wären die Anschaffungskosten beider Lokomotiven gleich, so würde sich eine bedeutend bessere Wirtschaftlichkeit für die Turbolokomotive ergeben. In Wirklichkeit aber sind die Anschaffungskosten der Turbolokomotive um etwa das 1,86fache höher als die der P 8; im Vergleich zur P 10 beträgt der Anschaffungspreis der Turbolokomotive etwa das 1,42fache. Stellt man also in der Wirtschaftlichkeitsrechnung alle drei Maschinen gegenüber, so ergibt sich, daß gegenüber der P 8 nur ein ganz geringer, gegenüber der P 10 jedoch ein ziemlich beträchtlicher Gewinn zu verzeichnen ist. Ob aber das Eisenbahn-Zentralamt einen Vergleich dieser 2 C 2-Turbolokomotive mit der D-gekuppelten P 10 zulassen wird, muß dahingestellt bleiben; denn diese Lokomotive stellt zur Zeit eine ganz neue Bauart dar, die sich noch mehr oder weniger in der Entwicklung befindet.

Ausgeführte Turbolokomotiven.

Die in England erbaute Ramsay-Lokomotive[1]) dürfte nach den obigen Erläuterungen dem erwarteten Zweck nicht entsprechen. In ihr wird der Dampf in einer Turbodynamo in elektrische Energie umgesetzt und in zwei Elektromotoren unter dem Kesselwagen und unter dem mit Kondensation ausgestatteten Tender ausgenützt. Beide Motoren sind mit je drei Achsen gekuppelt. Die Turbodynamo leistet an den Klemmen 890 kW, eine Leistung, die für 6 Treibachsen von 1200 mm Rad-Dmr. außerordentlich gering erscheint. Berücksichtigt man, daß durch Kupplung der Treibachsen die Eigenwiderstände von Lokomotiven beträchtlich vergrößert werden, so ergibt sich die Tatsache, daß die Ramsay-Turbolokomotive, verglichen mit einer modernen Kolben-Lokomotive gleicher Leistung, weder an Dampf noch an Kohle sparen wird. Die zweifache Energieumsetzung dürfte außerdem einen Wirkungsgrad zwischen Turbinen und Blindwelle von höchstens 77 vH ergeben, während mit modernen Rädergetrieben bis zu 97 vH erreicht werden können. Eine in „The Engineer“ Bd. 133 vom 24. März 1922 S. 329 wiedergegebene kurze Beschreibung dürfte diese Betrachtung unterstützen. Während man für Turbolokomotiven genau wie für elektrische Lokomotiven einen Reibungsfaktor von 1/4 zulassen darf, ist bei der Ramsay-Lokomotive ein solcher von 1/11 vorhanden. Das Reibungsgewicht beträgt nicht weniger als 108,5 t und das Gesamtgewicht 130 t. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die Eigenwiderstände in gar keinem Vergleich stehen zu der geringen Leistung der Lokomotive. Vier gekuppelte Achsen wären für ihre Verwendung als Güterzuglokomotive vollkommen ausreichend. Wahrscheinlich sind die Erwartungen des Erbauers nicht in Erfüllung gegangen, wofür schon der Umstand spricht, daß bisher keine Versuchsergebnisse veröffentlicht sind.

Die Firma Escher, Wyhs & Cie. hat sich mit der Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur bereits vor einigen Jahren dieser Frage zugewandt und aus einer vorhandenen Kolbenlokotive durch Anbau von Turbinen und Oberflächenkondensation mit Rückkühlung des Kühlwassers eine Turbolokomotive hergestellt[2]). Allem Anschein nach ist die Maschine von nur geringer Leistung; sie dürfte jedenfalls für deutsche Verhältnisse zur Beförderung von Zügen im Gesamtgewicht von 600 t nicht in Frage kommen. Aus Veröffentlichungen in der englischen Fachpresse ist zu ersehen, daß das Untergestell und der Kessel beibehalten worden sind, während an Stelle der Zylinder die Vor- und Rückwärtsturbine und Oberflächenkondensation angeordnet sind. Die Blindwelle des Rädergetriebes ist durch Kuppelstangen mit drei Treibachsen verbunden, das für die Kühlung des Oberflächenkondensators notwendige Wasser wird durch eine biegsame Rohrleitung nach dem oberen Teil des Tenders geleitet und dort durch eine Rieselvorrichtung in engste Berührung mit dem Fahrtwind gebracht, der selbst bei ausgiebiger Verdampfung des Kühlwassers zur Erzeugung eines guten Vakuums nicht ausreichen wird. Es hat sich bereits bestätigt, daß auf kurzen Fahrten mit Steigungen das Kühlwasser um mehrere Grad erwärmt wird, wodurch die Luftleere verschlechtert und die Leistung der Turbine unzureichend wird. Nach neueren Patentanmeldungen zu urteilen, versucht die Erbauerin sowie die Firma Fried. Krupp A.-G., welche Lizenzen für die Ausführung dieser Turbolokomotivenart hat, die Einführung eines Ventilators. Es ist aber zu befürchten, daß bei dieser Bauart starke Belüftung bedeutende Mengen von Kühlwasser in Tropfenform wegführen wird, daß also mehr Wasser verbraucht wird, als für die Kesselspeisung nötig ist.

Von einem wesentlich andern Gesichtspunkte faßte Ljungström in Schweden die Aufgabe an. Sein Bestreben war von Anfang an, eine vollkommen durchgearbeitete neuartige Lokomotive bester Wirtschaftlichkeit herzustellen[3]).

Im Aufbau trennt Ljungström das Triebfahrzeug von dem Kesselwagen. Dieser ist lediglich der wie gewöhnlich ausgeführte Kessel auf Rädern ohne jedes Triebwerk, ausgerüstet mit Kohlenbunkern, Wasserbehältern, Speisepumpe, Verbrennungsluftvorwärmer und Rauchgasbläser. Er nutzte als erster die hohen Temperaturen der Abgase von Heißdampf-Lokomotiven zum Vorwärmen der Verbrennungsluft aus und bildete zu diesem Zweck einen in der Rauchkammer angeordneten Vorwärmer von beträchtlicher Oberfläche aus. Auf dem Triebwagen ist dicht hinter

[1]) Z. Bd. 66 (1922) S. 351.
[2]) Z. Bd. 65 (1921) S. 1298.
[3]) Z. Bd. 66 (1922) S. 1060 und Bd. 67 (1923) S. 557.

dem Führerstand die schnellaufende Turbine angebracht, die mit dem Kessel durch ein biegsames Hochdruckdampfrohr verbunden ist. Unter ihr ist das umlegbare Zahnradgetriebe angeordnet. Ljungström erkannte die großen Nachteile der mit Rückwärtsbeschaufelung ausgeführten Turbine und bildete ein Zahnradgetriebe aus, das durch Einschalten eines Zwischenrades die Rückwärtsbewegung der Lokomotive bewirkt. Durch diese Anordnung wird ohne Zweifel wesentlich an Dampf gespart, jedoch scheint das Zahnradvorgelege zu verwickelt zu sein und manchen schwachen Punkt aufzuweisen. Hervorgehoben sei hier nur die Ausbildung des Schaltrades, das mit kreuzweise geschnittenen Zähnen hergestellt ist. Im Verschiebedienst dürfte ein derartiges Rad infolge hoher spezifischer Belastung sehr bald versagen.

Der Abdampf der Turbine wird in einen sehr gut durchdachten Kondensator geleitet, der gleichzeitig als Vakuumakkumulator dienen soll. Wasser wird innerhalb einer Trommel durch eine Umwälzpumpe über ein Sieb geleitet und beim Herunterrieseln in engste Berührung mit dem Dampf gebracht. Hierbei wird erreicht, daß bei plötzlich sich steigernder Dampfentnahme der Turbine das in dem Behälter befindliche Wasser die Wärme aufnimmt, die der eigentliche unter dem Dach des Triebwagens angebrachte luftgekühlte Oberflächenkondensator nicht ableiten kann. Die Wassermenge, die zur Verfügung steht, ist aber verhältnismäßig gering, ihre Wärmeaufnahmefähigkeit klein, sodaß die beabsichtigte Wirkung nur vorübergehend ist. Der Oberflächenkondensator ist gedrängt gebaut, jedoch in seinem Aufbau so teuer, daß er für wirtschaftliche Herstellung wenig in Frage kommen kann, außerdem sind die vielen Lötstellen zu verwerfen, da es bei Reihenherstellung ausgeschlossen erscheint, sie gut auszuführen; auch dürfte es schwierig sein, die Lötstellen im Betriebe dauernd dicht zu erhalten.

Ljungström ist in seinen Bestrebungen und in der Verbreitung seiner Gedanken aus nationalen Gründen außerordentlich von Mitarbeitern und Landsleuten unterstützt worden. Hervorzuheben ist aber, daß er erst vor kurzer Zeit von der schwedischen Regierung einen Auftrag auf eine Probelokomotive erhalten hat, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß die Probefahrten befriedigend ausgefallen, aber noch viele Mängel zu beseitigen sind. Ferner ist zu bemerken, daß die Maschine, trotz verhältnismäßig kleiner Leistung, so lang ist, daß sie nur auf den größten Drehscheiben gewendet werden kann. Behauptet wird, daß die Turbine imstande ist, 1800 PS zu leisten, es darf aber nicht vergessen werden, daß sie diese nicht ausnutzen kann, da der Kondensator so klein bemessen ist, daß bei Steigungen schon nach ganz kurzer Zeit die Luftleere beträchtlich sinkt.

Schluß.

Wie bereits zu Anfang gesagt, sind die heutigen Kolbenlokomotiven vorzüglich durchgebildete, sparsame Maschinen von einfachem Aufbau. Eine jede Neuerung wird bekanntlich von dem bedienenden Personal zunächst mit großer Zurückhaltung aufgenommen, oft auch derart bemängelt, daß sie von den leitenden Stellen verworfen wird.

Daß eine Turbolokomotive bezüglich Einfachheit einer preußischen P 8 gleichkommt oder diese gar übertrifft, ist natürlich ausgeschlossen, da nur durch sehr verfeinerten Bau Vorteile in der Ausnützung des Dampfes erzielt werden können. Es ist ferner gezeigt worden, daß die Frage des Kondensators vorläufig noch keineswegs gelöst ist, und daß mit ihm im längeren Betriebe voraussichtlich große Schwierigkeiten auftreten werden. Ein weiterer Übelstand ist darin zu erblicken, daß die Kühlfläche des Kondensators ziemlich groß ausgeführt werden muß — so hat Ljungström z. B. 1 m^2/PS Kühlfläche —, und daß für jedes Quadratmeter Kühlfläche naturgemäß entweder Lötstellen oder Dichtungen vorgesehen werden müssen, die nicht, wie bei ortfesten Maschinen, dauernd unverändert bleiben, sondern durch das Rütteln auf der Lokomotive sehr bald versagen können. Da die Oberfläche nicht zu klein ausgeführt werden darf, wird das Gewicht des zu verwendenden Messings ziemlich beträchtlich und die Anschaffungskosten des Kondensators entsprechend hoch.

Beim Bau der Turbolokomotive muß mithin, um das Gewicht und den Preis der Maschine niedrig zu halten, die Oberfläche des Kondensators auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Hierfür bietet die Vorwärmung des Speisewassers in mehreren Stufen eine besonders gute Handhabe. Es wurde oben gesagt, daß für die Hilfsmaschinen eine beträchtliche Dampfmenge erforderlich ist, die, wenn nicht andre Maßnahmen getroffen werden, zusammen mit dem Dampf der Hauptmaschine in dem Kondensator niedergeschlagen werden muß. Bekanntlich wird die Wirtschaftlichkeit — der thermische Wirkungsgrad — einer Dampfmaschine durch Stufenvorwärmung des Speisewassers um einige Hundertteile erhöht. Besonders vorteilhaft gestaltet sich dies für die Turbolokomotive, da dabei nicht nur der Wirkungsgrad erhöht, sondern auch die Oberfläche des Kondensators und die zu seiner Belüftung gebrauchte Luftmenge verkleinert werden. Die verschiedenen Hilfsmaschinen geben Gelegenheit, Stufenvorwärmung in günstigster Form vorzunehmen, indem die Schaltung der Hilfsmaschinen auf niedriges Vakuum oder Gegendruck oder auch Ausnützung ihres Abdampfes in der Hauptmaschine vorgenommen werden kann. Diese Gesichtspunkte sind jetzt voll berücksichtigt. Werden ferner die Einzelheiten der Maschine so aufgebaut, daß keines der Elemente wesentlich von bereits im ortfesten wie im Lokomotivbetriebe durchgeprüften abweicht, mithin höchste Gewähr für sicheren Dauerbetrieb bietet, so dürfte eine solche Maschine nicht nur Kohlenersparnis bis zu 50 vH auf langen Strecken dauernd erzielen, sondern der Betriebsicherheit der jetzt gebräuchlichen besten Kolbenlokomotiven in jeder Beziehung gleichkommen.

Ob aber die Verbesserung der Lokomotive in der Zufügung des Kondensators gesucht werden muß, kann mit Sicherheit heute noch nicht gesagt werden. Möglich wäre es jedoch, größeres Wärmegefälle durch Erhöhung des Kesseldruckes beispielsweise auf 35 at und der Dampftemperatur auf etwa 375 bis 400° zu erzielen. Bei solchen Maschinen wird nun durch Zufügung des Kondensators wenig oder gar nichts gewonnen. Sie werden mithin zweckmäßig mit Auspuffbetrieb arbeiten, wodurch die Maschine wieder die einfache Gestaltung der jetzigen Kolbenlokomotive erhält und ferner bedeutend leichter und billiger hergestellt werden kann. [A 2137]

Einmannwagenbetrieb in Linz und Amsterdam.

Während in Amerika der Einmannwagen eine gründliche Umgestaltung der Einrichtung von Straßenbahnwagen zur Folge hatte[1]), ist man in Europa bestrebt, durch Umbau bestehender Wagen die Kosten der Umgestaltung auf ein Mindestmaß zu beschränken. So berichtet „Die Verkehrstechnik"[2]) über Versuche auf einer 2,5 km langen, schwach befahrenen Strecke in Linz, wobei für den Einmannbetrieb lediglich das Absperren der Zugänge mittels Einhängegitter vorgesehen und das Fahrgeld an den Haltestellen und am Endpunkt dem Wagenführer zu bezahlen ist; bei dichterem Verkehr sind jedoch unbedingt Wagenschaffner zu verwenden.

Ein anderer rein elektrisch betätigter Einmann-Sicherheitswagen ist von den Bergmann-E.-W., Berlin, gemeinsam mit Linke-Hofmann-Lauchhammer, Breslau, für Amsterdam geliefert worden[3]). Der zweiachsige Wagen hat 18 Sitz- und 17 Stehplätze und wiegt unbesetzt 11 t. Er wird durch zwei Reihenschlußmotoren von 30 kW bei 550 V 560 Uml./min angetrieben. Das Fahrgeld wird beim Einsteigen in einen besonderen Zählkasten beim Motorführer entrichtet. Die Türen werden vom Führer rein elektromechanisch (ohne Druckluft wie in Amerika) mittels eines im Fahrschalter eingebauten Hebels geöffnet und geschlossen und sind mit dem Fahrschalter derart verriegelt, daß der Wagen bei offener Tür nicht abfahren kann. Beim Loslassen des Fahrschalters greift eine kräftige Kurzschluß-Notbremse ein, wobei die Klingel ertönt und ein rotes Lichtsignal an der Stirnfläche erscheint; zur Erhöhung der Bremswirkung ist eine Schienenbremse vorgesehen, die gleichzeitig mit der Kurzschlußbremse in Wirksamkeit tritt. Anderseits kann der Führer im Bedarfsfalle (z. B. bei Geldwechsel) durch einen Fußschalter die Druckknopfunterbrechung des Fahrschalters außer Tätigkeit setzen. Die Einsteigstufen sind (wie zumeist auch in Amerika) als selbsttätige Klappenstufen ausgebildet, die zwangläufig mit den Wagentüren gekuppelt sind. Für das Ein- und Ausschalten des Fahr- und Bremsstromes dient eine elektromagnetisch betätigte Schützensteuerung. Fünf solcher Wagen sind seit November 1922 auf einer Strecke mit durchschnittlich 15 Fahrgästen auf einen Wagenkilometer im Betriebe; der Umbau von 100 weiteren Wagen ist in Bestellung gegeben. [M 92] Rb.

[1]) Siehe auch Z. Bd. 67 (1923) S. 1084.
[2]) Z. Bd. 68 (1924) S. 57.
[3]) Nach einem Aufsatz von Becker in der ETZ Bd. 45 (1924) Heft 7.

Kesselfeuerung mit selbsttätiger Feuerschürung und Schlackengenerator.

Von Oberingenieur Dr.-Ing. Ernst Pfleiderer, Ludwigshafen a. Rh.

Es werden zwei Neuerungen auf dem Gebiet des Feuerungswesens besprochen, nämlich eine selbsttätige Schürvorrichtung und der sogenannte Schlackengenerator, der an die Stelle der üblichen Stauvorrichtung tritt. Die konstruktive Ausführung der beiden Einrichtungen ist an Hand von Schnittzeichnungen und Bildern besprochen. Als besonderer Vorteil ergibt sich hoher Kohlensäuregehalt der Abgase, hohe Kesselleistung und gleichzeitig guter Ausbrand auch bei schlackenreichen und unsortierten Brennstoffen. Bemerkenswert ist hierbei die weitgehende Unabhängigkeit von der Bedienung; es werden Verhältnisse erreicht, die den Kohlenstaubfeuerungen nahe kommen. Die Ergebnisse von 5 Verdampfungsversuchen sind wiedergegeben.

Die große Brennstoffnot der Nachkriegsjahre und vor allem die stetige Verschlechterung der Brennstoffe in Deutschland zwang dazu, die Feuerungen den neuen Bedingungen anzupassen. Die letzten Jahre waren daher reich an Neukonstruktionen aller Art auf dem Gebiet der Feuerungstechnik. Für eine erstklassige Nußkohle in Verbindung mit einer guten Feuerbrücke entsprach der normale Wanderrost so ziemlich allen Anforderungen. Es konnte dabei mit geringen Bedienungs- und Unterhaltungskosten eine hohe Brennstoffausnutzung erreicht werden. Es genügte, daß der Heizer dem Dampfbedarf entsprechend Vorschub und Schornsteinzug regelte unter Beachtung der Aufschreibungen des CO_2-Rauchgasanzeigers; gelegentlich mußte einmal eine Unebenheit im Feuer ausgeglichen werden, im übrigen hatte aber der Heizer am Wanderrost wenig schwere körperliche Arbeit zu verrichten.

Diese Verhältnisse änderten sich von Grund auf, als die Nußkohle vom Markt verschwand und als Ersatz ungewaschene Förderkohle verfeuert werden mußte; selbst diese war noch schwer zu bekommen und mußte durch Zumischung von Koksgrus und andern minderwertigen Brennstoffen gestreckt werden. Nun ergaben sich ganz andre Verhältnisse auf dem Rost. Diese unsortierte, meist auch magere Kohle zündet schon schwer, die Kohle backt im Feuer zusammen und brennt ganz unregelmäßig aus. Beim Herabrutschen aus den Kohlenschläuchen und im Kohlentrichter hat der Brennstoff die Neigung, sich auszusortieren, d. h. die gröberen, nußartigen Kohlenteile fallen nach der Seite und der feine Grus bleibt mehr in der Mitte liegen. Ein ungleichmäßiger Abbrand ist dann unvermeidlich, und als Folge ergeben sich: Löcher im Feuerbett, geringer Kohlensäuregehalt der Abgase und stark verminderte Dampfleistung. Dazu kommen noch die Schwierigkeiten, die durch den hohen Schlackengehalt der Brennstoffe bedingt sind.

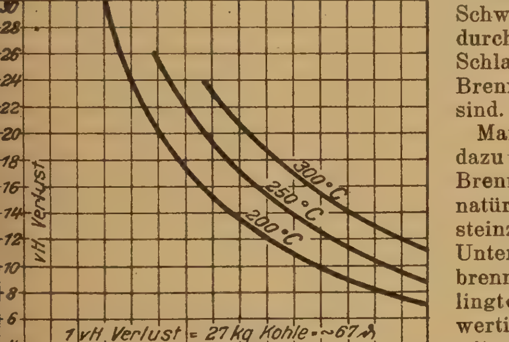


Abb. 1. Abwärmeverlust in Abhängigkeit vom Kohlensäuregehalt der Rauchgase.

Man ging daher dazu über, diese Brennstoffe nicht mit natürlichem Schornsteinzug, sondern mit Unterwind zu verbrennen. Dadurch gelingt es, selbst minderwertige Brennstoffe mit verhältnismäßig guter Ausnutzung zu verbrennen, aber die frühere Einfachheit der Feuerung und die selbsttätige Arbeitsweise ging verloren. Der Unterwind ermöglicht zwar, selbst mageren und minderwertigen Brennstoff zu entzünden, aber die Ungleichheiten des Feuerbettes zwingen hier erst recht dazu, den Rost sorgfältig zu bedienen. Wird nicht die zusammengebackene Kohle aufgeschürt, zertrümmert und gleichmäßig über den Rost gestreut, so ist weder hohe Dampfleistung noch gute Brennstoffausnutzung zu erzielen. Das stetige Schüren bedingt nun wieder schwere körperliche Tätigkeit für den Heizer. Ein Kessel von 600 m² Heizfläche habe z. B. zwei Unterwindroste von je 10 m² Heizfläche und verbrenne bei einer Dampfleistung von 30 kg auf 1 m² Heizfläche und 75 vH Wirkungsgrad unter Verwendung einer Kohle von 6000 kcal etwa 2,8 t Kohle stündlich. Wenn diese Kohlenmenge auf dem Rost so geschürt werden soll, wie es zur Erzielung eines guten Wirkungsgrades nötig ist, so muß der Heizer etwa alle 10 Minuten auf jedem Rost das Feuer durcharbeiten. Bei so großen Rosten sind lange, schwere Schürstangen erforderlich. Mit allen Arbeitspielen, wie Öffnen der Feuertür, Hochheben der Krücke, Durcharbeiten des Feuers, Herausziehen und Hinlegen der Krücke (wobei meist noch enge Raumverhältnisse herrschen), Geraderichten der unter Umständen verbogenen Krücke, vergehen etwa 2 bis 2½ Minuten. Es ergibt sich schon aus dieser flüchtigen Betrachtung, daß nur ein sehr fleißiger Heizer zwei Roste dieser Größe bedienen kann, wenn das Feuer ordnungsgemäß gehalten und gute Dampfleistung erzielt werden soll. Man sieht auch aus diesem Beispiel, daß das Sparen an Bedienungspersonal nicht immer wirtschaftlich ist. Die Frage, ob in einem gegebenen Fall besser ein oder zwei Heizer verwendet werden, läßt sich auf Grund von Abb. 1 leicht beantworten. Hier ist die Kohlensäure in Abhängigkeit vom Schornsteinverlust aufgetragen. Betrachtet man 12 vH als erreichbares Ziel, so ergibt sich folgendes: Der Rückgang der Kohlensäure von 12 vH auf 11 vH entspricht einem Anwachsen des Schornsteinverlustes um 1,1 vH. Dies bedeutet für die oben angegebenen Verhältnisse einen Kohlenverlust von rd. 30 kg/h. Legt man einen Kohlenpreis von 2,5 ₰/kg zugrunde, so sind das 75 ₰. Demgegenüber kann der Heizerlohn mit 50 ₰ angesetzt werden. Da für jeden Arbeiter noch Generalunkosten entstehen, so kann man sagen, daß der Rückgang der Kohlensäure von 12 auf 11 vH gerade einen Heizer aufwiegt, daß ein weiterer Rückgang aber unwirtschaftlich und dann die Anstellung eines zweiten Heizers gerechtfertigt wäre.

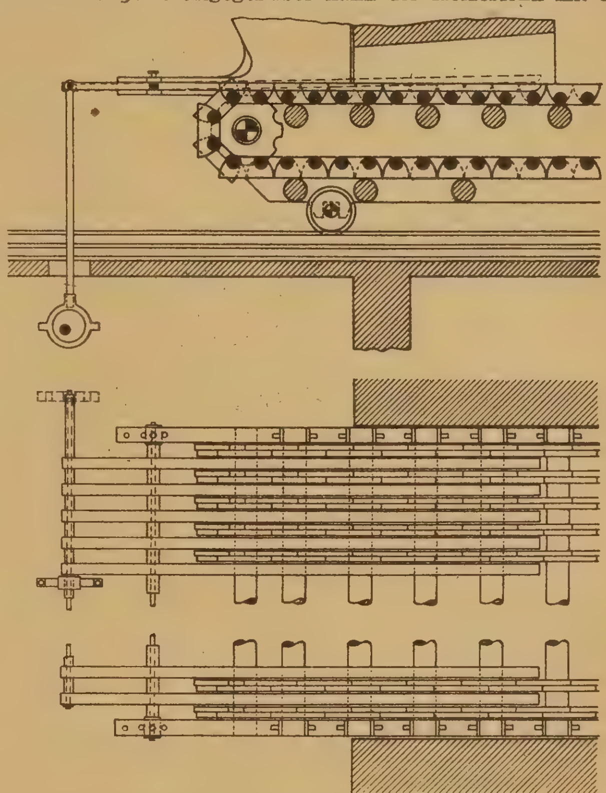


Abb. 2 und 3. Amerikanische Ausführung eines selbsttätig schürenden Wanderrostes. Durch Exzenterhebel bewegte Schürstäbe zwischen den Roststäben.

Nun ist es aber eine mißliche Sache, in einem großen Kesselbetrieb in so weitgehendem Maße von der Zuverlässigkeit, Ausdauer und Sachkenntnis des Heizers abhängig zu sein. In großen Betrieben zeigt sich schon ohnehin die Schwierigkeit, gutes Heizerpersonal zu bekommen. Meist muß ein völlig unkundiger Mann oder, was noch schlimmer ist, ein mit ganz falschen Vorstellungen Behafteter für die betreffende Anlage vom Betrieb ausgebildet werden. Sobald aber die Aufsicht und der Anreiz zu besonderen Leistungen fehlt, wird das Ergebnis ziemlich mangelhaft sein. Man hat daher neuerdings in vielen Fällen Heizerprämien mit gutem Erfolg eingeführt und besondere Heizerkurse zur Anlernung des Personals eingerichtet. Aber alle diese Maßnahmen haben doch nur einen beschränkten Erfolg. Es war daher das Bestreben des Verfassers, den Feuerungsbetrieb möglichst weitgehend von dem guten Willen und der Sachkenntnis des Bedienungspersonals unabhängig zu machen. Zu diesem Zweck muß der Heizer von der ermüdenden körperlichen Tätig-

keit vollkommen befreit werden. Seine Arbeit soll nur in der Überwachung der ganzen Anlage bestehen. Körperlich anstrengende Arbeit wird vom Heizer geleistet beim Schüren des Feuers und beim Abräumen der Schlacke. Diese beiden Arbeiten werden für Kesselfeuerungen mit Unterwind und stark schlackender Kohle noch anstrengender; sie werden durch die im folgenden beschriebenen Einrichtungen, die vom Verfasser entworfen und in die Praxis eingeführt wurden, dem Heizer abgenommen und selbsttätig ausgeführt.
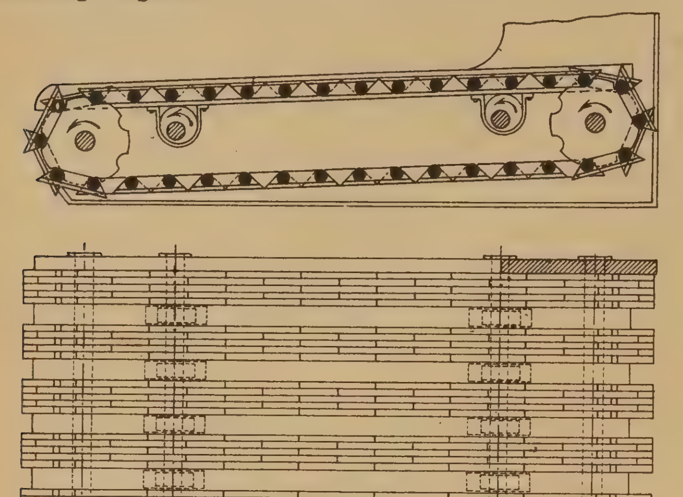


Abb. 4 und 5. Amerikanische Ausführung eines selbsttätig schürenden Wanderrostes. Durch Exzenterwalzen bewegte Rostbalken.

Selbsttätige Schürvorrichtung.

Eine selbsttätige Schürung des Feuers bei Wanderrosten ist in Deutschland noch nicht bekannt. Bei guter Kohle war das Bedürfnis dazu noch nicht so wie heute vorhanden; außerdem bietet die Aufgabe auch manche technische Schwierigkeiten. Das einzige Land, wo mechanische Schürvorrichtungen an Wanderrosten bekannt sind, ist Amerika. Dort herrschte von jeher das Bestreben vor, die teure Handarbeit durch die Maschine zu ersetzen. Aus der amerikanischen Patentliteratur sind nur einige

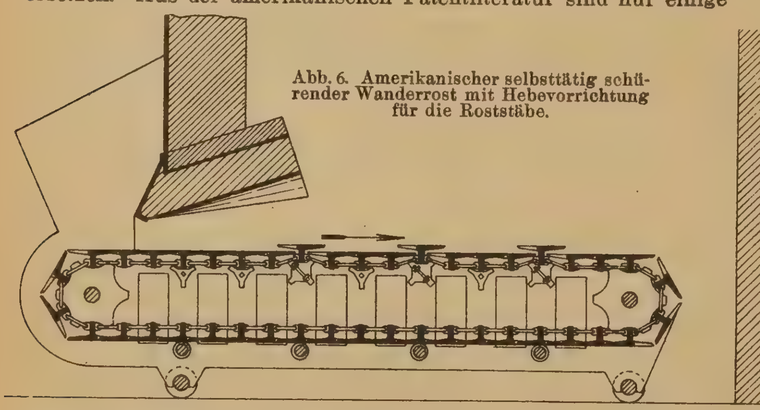


Abb. 6. Amerikanischer selbsttätig schürender Wanderrost mit Hebevorrichtung für die Roststäbe.

wenige selbsttätig schürende Wanderroste bekannt; daß sie irgendwelche praktische Bedeutung erlangt haben, ist kaum anzunehmen, da ihnen offenkundige Mängel anhaften. Es handelt sich nämlich bei diesen Konstruktionen um Sonder-Rostbauarten. Die schürende Wirkung wird also nicht durch eine zusätzliche Einrichtung zu einem beliebigen Rost erzielt, sondern ist durch die besondere Rostkonstruktion bedingt. Bei der Konstruktion, Abb. 2 und 3, wird die Schürwirkung dadurch erzielt, daß zwischen den umlaufenden Roststäben längs des Rostes Lücken gelassen sind, in die im vorderen Rostteil Stäbe eingelegt sind, die etwa bis zur Mitte des Rostes reichen.

Die Stäbe können durch ein Exzenter um einen außerhalb der Feuerung gelegenen Drehpunkt bewegt werden, so daß sie im Inneren der Feuerung sich in die Glut hineinbewegen. Es soll dadurch erreicht werden, daß in der Zeit, da die Kohle vergast und im Feuer zusammenbackt, die Bildung größerer Koksbrocken verhindert wird. Daß diese Einrichtung versagen muß, liegt auf der Hand. Zunächst werden die Stäbe, die nicht gekühlt sind, durch das stete Hineinstoßen in die Feuerschicht sehr rasch verbrennen, anderseits sind natürlich auf dem hinteren Rostteil die Spalten, die durch das Einlegen der Stäbe im vorderen Rostteil gebildet werden, viel zu groß, so daß eine erhebliche Menge glühenden Brennstoffes durchfallen wird. Ferner reicht

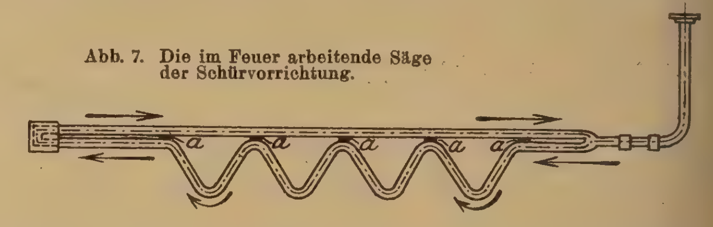


Abb. 7. Die im Feuer arbeitende Säge der Schürvorrichtung.

die Zone, bis zu der noch eine Verkokung eintritt, bis ungefähr auf zwei Drittel der Rostlänge, wodurch die Einrichtung konstruktiv schwierig auszuführen ist; auch dürfte die Schürwirkung mangelhaft sein, da die Brennstoffschicht nur leicht angehoben werden darf. Falls nämlich die Schürstangen die ganze Brennstoffschicht durchdrängen, würde ihre Lebensdauer wohl nur wenige Stunden betragen und außerdem das mechanische Arbeiten in Frage gestellt sein, weil sich die Spalten mit Brennstoff zusetzen werden.

Die Schürvorrichtung, Abb. 4 und 5, beruht auf einem ganz ähnlichen Grundsatz. Auch hier handelt es sich um einen Wanderrost aus mehreren nebeneinander herlaufenden Rostketten, dessen Schürwirkung darin besteht, daß Rostbalken, die in der Längsrichtung zwischen den Rostketten liegen, auf Walzen ruhen,

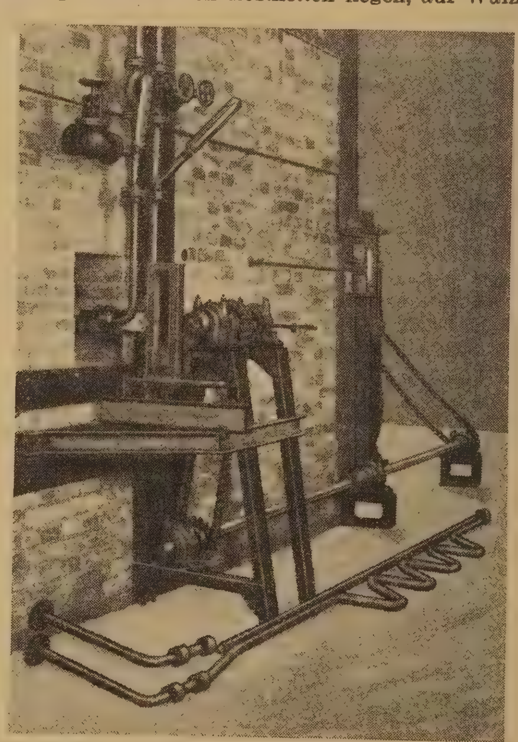


Abb. 8. Ausführung einer Schürvorrichtung mit Antrieb vom Räderkasten des Rostantriebes. Am Fußboden sieht man die ausgebaute Säge.

die durch ein Exzenter bewegt werden und bei jeder Umdrehung den Balken vorübergehend hochheben. Auch dieser Vorrichtung haften grundsätzlich die gleichen Mängel an, wie der zuvor beschriebenen.

Eine andre Anordnung, Abb. 6, besteht darin, daß die mit Brennstoff beladenen Rostbrücken beim Durchschreiten gewisser Stellen um ein geringes Stück in die Höhe gehoben werden. Auch diese Ausführung unterscheidet sich in den Grundzügen wenig von den vorhergehenden. Für Unterwindbetrieb eignen sie sich überhaupt nicht. Es ist daher leicht begreiflich, daß diese Konstruktionen keine praktische Bedeutung gewonnen haben.

An eine praktisch brauchbare Schürvorrichtung müssen folgende Bedingungen gestellt werden: Die Konstruktion muß so einfach wie möglich sein, muß an jedem Rost anzu-

bringen und während des Betriebes ohne Störung wieder entfernbar sein. Die Arbeitsweise muß zuverlässig, der Verschleiß gering sein. Für den Heizer muß jede Schürtätigkeit durch die Einrichtung überflüssig werden. Dies wird durch die nachstehend beschriebene Schürvorrichtung erreicht.

Bei dem Verbrennungsvorgang wird die Kohle zuerst getrocknet, dann entzündet und entgast; schließlich verbrennen die Koks. Solange die Kohle noch entgast wird, soll sie möglichst wenig berührt werden, da sich sonst Kohlenoxyd bildet. Ist dieser Vorgang jedoch beendet, so bedeckt die Kohle den Rost in großen Schollen zusammengebackener Koks. Werden nun die Koksschollen an der Stelle, wo die Entgasung vollendet ist, durch eine Vorrichtung völlig zertrümmert, so breiten sie sich

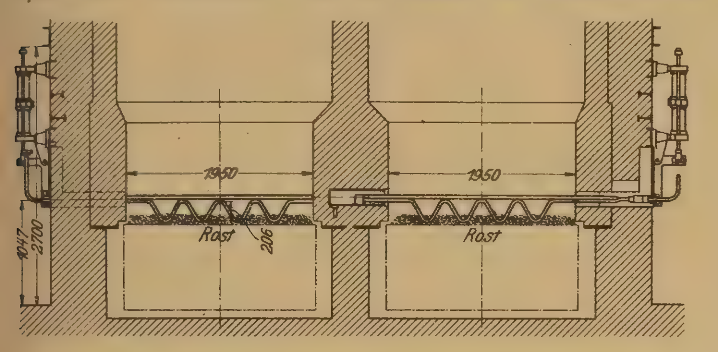


Abb. 9. Anordnung einer hydraulisch bewegten Schürvorrichtung.

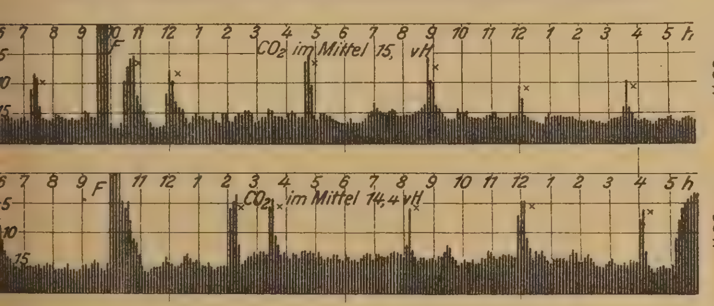


Abb. 10 und 11. Betriebsdiagramme zweier Kessel mit Schürvorrichtung. Keine Schürarbeit mehr seitens des Heizers. (F auf O geprüft.)

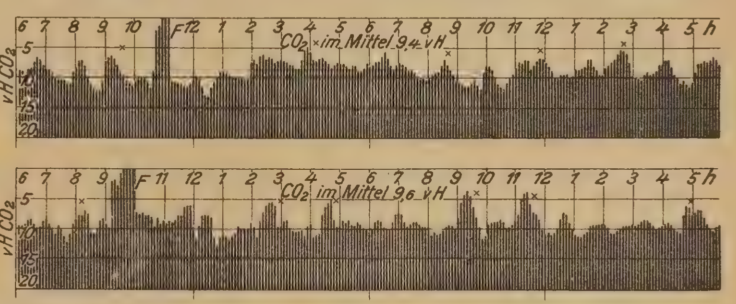


Abb. 12 und 13. Betriebsdiagramme zweier Kessel ohne Schürvorrichtung. Heizer schürt das Feuer.
× Unterwind abgestellt.

gleichmäßig in lockerer Schicht wie Nußkohle auf dem Rost aus. An dieser Stelle nun schneidet bei der Konstruktion des Verfassers durch die Kohlenschicht eine Säge, die aus einem wasserdurchflossenen Rohr gebildet ist. Diese Säge schwebt frei über dem Rost und wird durch einen beliebigen Antrieb entsprechend dem Abstand der Sägezähne in der glühenden Koksschicht hin- und herbewegt, wodurch die Koksbrocken dauernd zertrümmert werden und ein ganz gleichmäßiger Abbrand erzielt wird. Die Kühlung erfolgt durch Speisewasser, das dem Speisedruckring entnommen wird und in die Wasserreinigung zurückfließt, so daß weder Wasser noch Wärme verloren geht. Das untere S-förmig gebogene Rohr ist an den Stellen *a*, Abb. 7, mit dem oberen geraden Rohr verschweißt; dadurch ist die Konstruktion genügend steif, um auch breite Roste zu überbrücken.

Die Säge wird zwangläufig mit dem Rost angetrieben, damit nicht die stillstehende Säge durch die ankommende Brennschicht eingedrückt wird, am besten und billigsten gemäß Abb. 8 vom Schneckenrad des Rostantriebes oder durch hydraulisch bewegten Kolben, Abb. 9.

Eine Kupplung ist noch vorgesehen, um bei Störungen eine rasche Ausschaltung zu ermöglichen. Die Konstruktion ist so elastisch, daß selbst starke Schlacken anstandslos durchlaufen. Bei Feuerungen mit Doppelrosten ist der Auflagerung in der heißen Innenwand besondere Sorgfalt zugewandt. Die Rohre enden dort in einem kleinen Kolben, der in einer Büchse mit reichlichem Spiel läuft. Die Büchse hat am vorderen Ende einen kleinen wassergekühlten Ringraum und ist hinten mit einem Luftanschluß versehen. Vom Unterwindgebläse strömt nun dauernd etwas Luft durch die Büchse, kühlt sie im inneren Teil und bläst etwa eindringenden Staub sofort wieder aus. Der Wasseranschluß für die Säge erfolgt in der Art, daß die Rohre für Zu- und Abfluß einige Meter an der Kesselwand hochgeführt werden; sie sind dann so elastisch, daß sie den Ausschlag der Säge von 300 mm mühelos mitmachen. Die Säge bewegt sich so leicht, daß sie mit der Hand hin- und hergezogen werden kann. Der Antrieb ist so gestaltet, daß auf die Säge Zug und Druck nur in wagerechter Richtung ausgeübt werden kann.

Der Abnutzung wird auf folgende Weise Rechnung getragen. Der Kolben, der in der inneren Wand in der Büchse gleitet, hat einen aufgesetzten Schuh, der etwa alle 3000 Betriebstunden ausgewechselt wird. Eine Schmierung ist bei der langsamen Bewegung dort nicht notwendig. Die Säge selbst wird an den Teilen, die im Brennstoff reiben, durch eine Auflage von Schweißeisen verstärkt. Diese Auflage wird ebenfalls im gleichen Zeitraum erneuert.

Der feuerungstechnische Erfolg der Anlage ist überraschend günstig. Man kann bei Beobachtung des Feuers deutlich sehen, wie die Koksschollen durch die Säge zertrümmert werden und die Brennschicht auf die Hälfte zusammenfällt. Ein Schüren des Feuers durch den Heizer ist nicht mehr erforderlich; dabei kann die Kohlensäure allein durch Regelung mittels des Zuges auf beliebige Höhe gebracht werden und ist leicht an der Grenze zu halten, wo eben keine Oxydbildung mehr eintritt. So kann z. B. bei einer Kohle, die aus zwei Dritteln Ruhrfettförderkohle und einem Drittel Koksgrus besteht, mit der Schürvorrichtung die Kohlensäure, wie durch Versuche festgestellt wurde, unbedenklich bis auf 15,5 vH getrieben werden, gegenüber 13 vH ohne Schürvorrichtung, da der stets gleichbleibende Feuerzustand ein genaues Einregulieren der erforderlichen Luftmenge mit geringst möglichem Luftüberschuß zuläßt. Die Diagramme Abb. 10 und 11, 12 und 13 geben ein anschauliches Bild von der guten Wirkungsweise der Einrichtung. Die Diagramme sind gewöhnliche Betriebsdiagramme und zeigen, wie über einen Verlauf von 24 Stunden die Kohlensäure nur ganz geringen Schwankungen unterworfen ist, obschon der Heizer keinen Eingriff ins Feuer mehr ausübt. Es ist daher auch die Bedienung sehr vereinfacht,

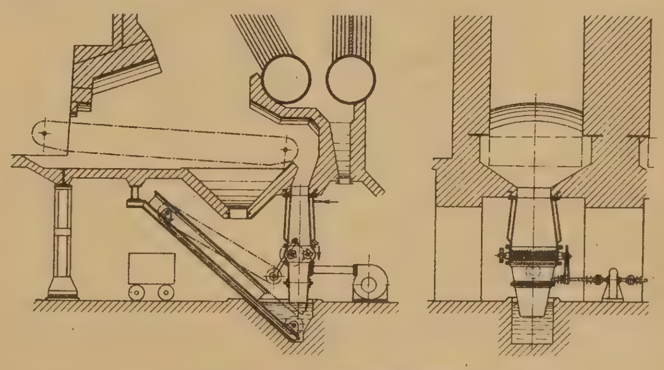


Abb. 14 und 15. Schlackengenerator.

und ein Heizer kann bequem eine ganze Anzahl von Rosten überwachen. Die Diagramme sind aufgenommen an einem 400 m²-Garbekessel mit nur einem Unterwindrost von 12,5 m² Rostfläche. Trotz dieser nicht besonders reichlichen Rostfläche und dem wenig gasreichen Brennstoff wurden Dauerbelastungen von 33 bis 34 kg auf 1 m² Heizfläche erzielt (vgl. S. 307 Zahlentafel 1). Da die Säge im hinteren Drittel des Rostes arbeitet, wird trotz des lebhaften Feuers, das dort entfacht wird, das Mauerwerk des Gewölbes nicht ungünstig beeinflußt. Dagegen wird eine sehr intensive Einstrahlung auf das Rohrbündel ausgeübt, wodurch die Dampfleistung vorteilhaft beeinflußt wird. Ein weiterer Vorteil der Einrichtung ist das Vermeiden von Rauchentwicklung. Bei dem in Pausen erfolgenden Schüren mit der Hand tritt jedesmal im Augenblick des Schürens eine starke Gasentwicklung auf, der Schornstein beginnt zu qualmen, und in den Abgasen läßt sich Kohlenoxyd nachweisen. Dies kommt in den Aufschreibungen des Adosapparates nicht genügend zum Ausdruck, da durch den Gasvorrat im Filter die Spitzen verwischt werden. Bei der selbsttätigen Schürung dagegen treten keine solche Unregelmäßigkeiten in der Gaszusammensetzung auf.

Die Konstruktion, wie sie eben beschrieben wurde, hat sich bei einer Reihe von Ausführungen in monatelangem Tag- und Nachtbetrieb bei scharfer Beanspruchung der Kessel sehr gut bewährt, sie hat nach Überwindung der ersten Kinderkrankheiten 4000 Betriebstunden ohne die geringste Störung gearbeitet und darf wohl als ein erheblicher Fortschritt auf dem Gebiet der Feuerungstechnik bezeichnet werden.

Schlackengenerator.

Mit der selbsttätigen Schürung allein ist aber die Feuerung, wie bereits eingangs erwähnt, noch nicht genügend selbsttätig. Große Schwierigkeit bereitet bei der hohen Rostbelastung und dem starken Schlackengehalt von 16 bis 18 vH die gute und verlustfreie Abführung der Schlacken. Zwar bringt die selbsttätige Schürvorrichtung schon eine wesentliche Erleichterung hinsichtlich des Ausbrennens des Brennstoffes, da die Verhältnisse auf dem Rost dadurch gleichmäßiger gestaltet werden und auf der ganzen Rostbreite ein Schlackengemisch von annähernd gleichem Ausbrand hinten ankommt. Bei dem hohen Schlackengehalt wird aber naturgemäß eine viel größere Brennstoffmenge am Stauer oder der Feuerbrücke anlangen, als bei hochwertiger Kohle. Auf dem Schlackenkuchen häuft sich zudem unverbrannter Brennstoff an, der von der zuströmenden Verbrennungsluft nicht genügend bespült werden kann. Ferner nimmt die Schlacke immer eine bestimmte Brennstoffmenge in sich eingeschlossen mit. Es ist daher eine bekannte Tatsache, daß Unterwindfeuerungen, die schlackenbereiche Brennstoffe verarbeiten, einen hohen Verlust durch Unverbranntes in den Rückständen ergeben. Es gibt eine ganze Reihe von Betrieben, bei denen es trotz bester Feuerführung nicht möglich ist, den Rückstandsverlust unter 10 vH herabzudrücken; dies ist besonders bei solchen Unterwind-Rostkonstruktionen der Fall, bei denen der feine Rostdurchfall auf die Abdeckplatte des Windkastens fällt und von den Rostbrücken in den Schlackentrichter geworfen wird.

Die bekannten Stauvorrichtungen und Feuerbrücken sind einem solchen Ansturm von Schlacke nicht gewachsen. Entweder es verstopft sich die Feuerung vor dem Stauer und die Schlacke muß mit mühsamer Handarbeit losgebrochen und weggeschafft werden, wobei natürlich auch der Gang des Feuers (Kohlensäure und Dampfleistung) notleidet, oder die Schlacke läuft zwar über die Stauvorrichtung weg oder unter ihr durch, nimmt aber eine Menge unverbrannter Teile mit.

Um diesen Übelständen zu begegnen, habe ich die Anordnung von Stauern bzw. Feuerbrücken verlassen und ordne statt dessen einen Generator, Abb. 14, 15 und 16, an, der mit dem Wanderrost derart zusammenarbeitet, daß das am Ende des Wanderrostes ankommende Gemenge von Schlacke und Koks vom Wanderrost in einen Generatorschacht abgestürzt wird.

Dort findet ein Aufstau dieses Brennstoffes in Höhe von 1,2 bis 1,5 m statt. Der Schacht wird mit Wasser gekühlt und ist nach unten kegelig erweitert, so daß sich der Schachtinhalt nicht festklemmen kann. Für besondere Fälle ist am Fußende des Generators eine Tür angebracht, falls aus irgendwelchen Gründen eine Entleerung durch die Walzen unmöglich ist. Der Schachtinhalt wird getragen von zwei Brecherwalzen. Der Heizer kann von seinem Stand aus den Auffüllungstand im Generator erkennen und schaltet durch einen Hebelgriff von Zeit zu Zeit die Walzen ein, die dann die auf ihnen ruhende völlig ausgebrannte Schlacke ganz allmählich nach unten herausziehen. Neuerdings erfolgt auch dieses Ein- und Ausschalten der Brecher selbsttätig, so daß der Heizer nur innerhalb größerer Zeiträume regelnd einzugreifen braucht. Die Schlacken fallen in einen Wasserverschluß und können von Hand oder in beliebiger mechanischer Weise entfernt werden. Für den Fall, daß ein Fremdkörper zwischen die Walzen gerät, ist eine selbsttätige Federkupplung vorgesehen, so daß kein Bruch eintreten kann. Die Verbrennungsluft tritt, durch ein Gebläse bewegt, unter die Walzen, die so gleichzeitig als Rost dienen. Der Vorgang verläuft also derart, daß zunächst der Wind an den glühenden, nur noch Spuren von Brennstoff enthaltenden Schlacken vorgewärmt wird. Er tritt allmählich, je höher er steigt, in Gemenge, die immer reicher an Kohlenstoff sind. Schließlich wird die so gebildete Kohlensäure wieder teilweise zu Kohlenoxyd reduziert. Ob und inwieweit eine Reduktion stattfindet, hängt von der Aufstauhöhe im Schacht und der Menge von Brennbarem ab, die mit den Schlacken in den Schacht abstürzt. An und für sich erscheint der Gedanke sehr einfach, es hat aber in der Praxis doch viel Schwierigkeiten gemacht, bis eine mechanisch und feuerungstechnisch gleichermaßen befriedigende Konstruktion gefunden wurde. Das störungsfreie Ausbringen der Schlacken, die bei manchen Brennstoffen zu schweren Blöcken zusammensintern, machte die meiste Schwierigkeit, besonders da auch mit Fremdkörpern, wie Backsteinen, ja ganzen Rostabbündeln z. B. beim Rost von Nyeboe & Nissen gerechnet werden muß. Es ist aber gelungen, durch geeignete Ausbildung der Walzen, deren Stellung zueinander und durch entsprechende Querschnittabmessungen des Schachtes, diesen Übelstand völlig zu beheben. Dagegen zeigt es sich, daß die naheliegende Befürchtung, der Rostbelag könnte unter dem Feuer des Generators leiden, oder die hintere Wanderrostwelle werde nicht genügend gekühlt, bei geeigneter Ausführung hinfällig ist. Man muß nur beachten, daß der Schacht nicht zu nahe am Wanderrost sitzt, so daß keine Stichflamme den Rost erreichen kann. Dagegen ist es wichtig, daß der Generator durch freien Fall und nicht durch Abrutschen auf einer schiefen Ebene beschickt wird, da sonst ungleicher Brand auftritt, indem die eine Seite feines, die andre grobes Material zugeführt bekommt. Schwierigkeiten bereitete anfangs auch der Generatorschachtmantel. Schweißungen sind mit Vorsicht zu machen und nachher auszuglühen, da sonst Risse auftreten. Für die sachgemäße Herstellung des Schachtes ist sorgfältigste Kesselschmiedearbeit und eine genau bis in die Einzelheiten durchdachte Konstruktion erforderlich. Aber es ist gelungen, alle diese Fragen zufriedenstellend zu lösen.

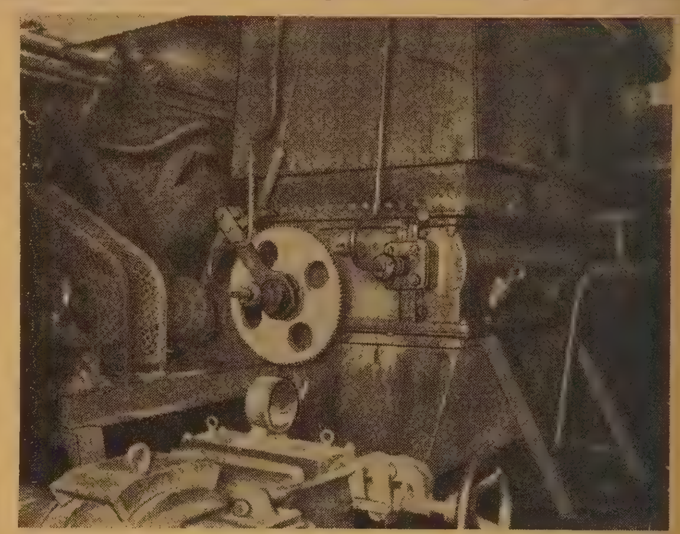


Abb. 14. Schlackengenerator in Betrieb.

Feuerungstechnisch stellt auch diese Anordnung eine wertvolle Bereicherung für den Feuerungsbetrieb dar. Es ist zu bedenken, daß es erst mit dieser Konstruktion möglich ist, das Gemenge von etwa 50 vH Koks und 50 vH Schlacken unter den für diesen Brennstoff günstigsten Verhältnissen fast restlos zu verbrennen. Der Rost mit seiner flachen Ausbreitung und seinen großen Abstrahlungsflächen erniedrigt die Temperatur zu sehr, vor allem aber wird dort nicht genügende Zeit gelassen und nicht genügend Luft zugeführt, um den Brennstoff restlos auszubrennen. In dem Generatorschacht dagegen verbleibt das Gemenge bei hoher Temperatur und kräftiger Luftzuführung noch etwa 1 bis 1½ Stunden, bis es endlich unten an den Walzen abgezogen wird. Durch die Walzen wird die Masse im Schacht dauernd in Bewegung erhalten und gewissermaßen geschürt; beim Nachrutschen werden der Luft stets neue Wege geöffnet; die Beschickung erfolgt ununterbrochen mit glühendem Brennstoff. Es ist mit dieser Konstruktion möglich, selbst die schlackenreichsten Brennstoffe fast restlos auszubrennen, da es nicht auf den Schlackengehalt des ursprünglich aufgegebenen Brennstoffes ankommt, sondern auf den Heizwert des Gemisches, wie es in den Generator abstürzt. Da der Rost nunmehr von zurückgestauten Schlacken völlig freibleibt und der Brennstoff, am Rostende angekommen, noch nicht so stark ausgebrannt zu sein braucht wie bei den Rosten mit Stauvorrichtungen, außerdem der Generator noch etwa 10 vH der Rostleistung übernimmt, so kann der Rost bei zweistufiger Verbrennung, d. h. in Vereinigung mit einem Generator, kleiner als normal gehalten werden, wodurch sich die Kosten für den Generator zum größten Teil wieder bezahlt machen.

Man erkennt ferner ohne weiteres, daß die Bedienung des Feuers nunmehr weiter bedeutend vereinfacht ist. Einen Eingriff mit der Hand hat der Heizer nur in Ausnahmefällen zu machen. Am Rostende findet kein Auf- und Rückstau statt. Die größten Schlackenmengen, auch die gefürchteten schmierenden Schlacken werden selbsttätig in den Generator geführt, dort von den Walzen abgezogen, abgelöscht und in die Schlackenwagen

oder den Bunker befördert. Der Heizer stellt nur Vorschub, Schornsteinzug, Unterwindmenge ein und schaltet von Zeit zu Zeit die Schlackenwalzen ein. Im übrigen verläuft der Prozeß selbsttätig bei besten Wirkungsgraden.

Bei fünf hintereinanderfolgenden Verdampfungsversuchen, die unter strengster Beachtung der für solche Versuche geltenden Vorschriften an einem 400 m²-Garbekessel mit einem Unterwindrost von 12,5 m² Heizfläche durchgeführt wurden, ergaben sich bei einem Kohlengemisch von ⅔ Förderkohle und ⅓ Koksgrus mit einem mittleren Heizwert von 6020 kcal, 15,8 vH Schlackengehalt und 9,95 vH Feuchtigkeit ein mittlerer Wirkungsgrad von 82 vH.

Dieser für diesen Brennstoff schon an und für sich sehr hohe Wert wurde erzielt bei einer Kesselbelastung von 34 kg auf 1 m² Heizfläche, während der Kessel für 25 kg/m² normal gebaut ist. Dementsprechend war die Abgastemperatur übernormal hoch, nämlich 260 bis 280 °C. Würde durch Vergrößerung des Vorwärmers die Abgastemperatur auf 200 °C heruntergedrückt werden, so würde sich der Wirkungsgrad um weitere 3 vH heben.

Der Flugkoksverlust von 2,5 vH kann auch wieder hereingebracht werden durch Vermahlen und erneutes Zusetzen, wie es neuerdings in dieser Anlage gemacht wird, so daß also an solchermaßen ausgestatteten Feuerungen Kesselwirkungsgrade von 87 vH ohne besondere Schwierigkeit erreichbar sein dürften.

Unter diesen Umständen wird es auch zweckmäßig sein, bei der Unterwindfeuerung zu bleiben, selbst wenn Nußkohle in guter Qualität wieder hinreichend zur Verfügung stehen sollte; denn die Unterwindfeuerung bietet eine Reihe von Vorteilen, die den Feuerungen mit natürlichem Zug abgehen, vor allem schnelles Hochheizen, leichte und schnelle Aufnahme von Spitzenleistungen, rasches Abfallen der Dampfleistung bei vermindertem Verbrauch, weitgehende Unabhängigkeit von der Kohlenbeschaffenheit.

Auch die Kohlenstaubfeuerung dürfte, selbst wenn das Feuerungsproblem gelöst sein sollte, solchen Wirkungsgraden gegenüber einen schweren Stand haben.

Bericht über die Verdampfungsversuche an einem 400 m²-Garbekessel mit Unterwindrost, Schlackengenerator und selbsttätiger Schürvorrichtung.

Die Laufgewichtwage zur Kohlen- und Schlackenwägung wurde vor und während jedes Versuches nachgeprüft und war immer genau. Zur Speisewassermessung war bei allen Versuchen eine selbstaufzeichnende Druckwage (100 mm Quecksilbersäule) eigenen Systems eingebaut, zur Überwachung außerdem eine selbstaufzeichnende große Dampfdruckwage. Die Wasserdruckwage erwies sich mitunter als empfindlich bei unvermeidlichen plötzlichen Schwankungen im Speisewasserdruck des Ringnetzes. Es wurden deshalb während des Betriebes Vergleichsablesungen am Quecksilber-Differenzmanometer gemacht. Der Dampfmesser mit 200 mm Quecksilbersäule, an den eine Gehre-Uhr angeschlossen war, zeigte sich infolge seiner größeren Ausführung stabiler, die Ablesegenauigkeit ist etwas größer als bei der Speisewasserdruckwage. Der größte Fehler zwischen den beiden Instrumenten erwies sich nur zu 1,5 vH. Hiermit ergab sich eine große Sicherheit in den Messungen.

Die Auswertung der Dampfmesserstreifen ist etwas zeitraubend, weil dabei auch die Dampftemperaturen und die Dampfdruckschwankungen zu berücksichtigen sind. Die Messungen von Dampfdruck mittels Präzisionsmanometers an der Meßscheibe, Dampftemperatur und Kesselmanometer, wurden alle 15 Minuten, die übrigen Messungen halbstündig durchgeführt (über die Messung der Kohlensäure vergl. weiter unten). Die Versuchsdauer betrug durchschnittlich 7 Stunden. Der Kessel befand sich bei Beginn der Versuche stets im Beharrungszustand, da er Tag und Nacht meist mit voller Belastung durchläuft. Besondere Sorgfalt wurde der Entnahme der Kohlen- und Schlackenproben für die Analysen gewidmet; es zeigte sich, daß bei der jetzigen, unregelmäßigen Beschaffenheit der Kohle für die Versuche eine Einzelprobe nicht genügt. Die Kohlenproben wurden daher doppelt genommen. Eine 500 kg-Probe wurde durch ein 15 mm-Maschensieb abgesiebt und der Heizwert des groben und des feinen Anteils für sich bestimmt. Oft ergaben sich beträchtliche Abweichungen im Heizwert des groben und des feinen Anteils. Durchschnittlich konnten 2 vH Schiefer aus den Proben von Hand aussortiert werden, die für sich auch analysiert wurden. In gleicher Weise wurde die Schlacke in groben und feinen Anteil abgesiebt, getrennt gewogen und analysiert.

Zur Rauchgasprüfung wurden außer den fortlaufenden Kontrollmessungen mit Orsatapparaten und qualitativer Kohlenoxydprobe ein registrierender Adosapparat und ein Duplex-Mono verwendet. Bei einzelnen Versuchen wurde auch ein transportabler, selbstaufzeichnender Monoapparat herangezogen. Die Rauchgastemperaturen vor dem Rauchgasvorwärmer wurden an drei Stellen mit Quecksilber-Rauchgasthermometern, hinter dem Vorwärmer an zwei Stellen gemessen. Die Dampftemperatur wurde außer durch unmittelbare Messung mit Stabthermometer noch mit einem Multithermographen verzeichnet.

Die übrigen Messungen erfolgten in üblicher Weise. Infolge der sorgfältigen Wägungen und Messungen dürften insbesondere die Ermittlungen der Einzelverluste in der Verlustbilanz eine große Zuverlässigkeit zeigen. Der verhältnismäßig geringe Strahlungsverlust im Restglied von rd. 2 bis 3 vH ist wohl aus der geringen

Zahlentafel 1.

Auszug aus den Verdampfungsversuchen an Kessel 12 mit Schlackengenerator und Schürvorrichtung.

Garbekessel von 400 m² Heizfläche und 12,5 m² Rostfläche.

Versuch Nr.		I	II	III	IV	V	
Versuchs-Tag		24. Nov. 1922	25. Nov. 1922	11. Januar 1923	16. Januar 1923	17. Januar 1923	Mittelwerte
Förderkohle $Hu =$	kcal	6 394	7 010	6 383	6 455	6 658	6 580
Koksgrus $Hu =$	„	4 498	4 397	4 651	4 935	5 794	4 860
Mischungsverhältnis		2 : 1	2 : 1	2 : 1	2 : 1	2 : 1	—
Heizwert der Mischung	kcal	5 764	6 133	5 800	5 944	6 370	6 005
Feuchtigkeit der Mischung	vH	9,59	8,55	12,42	10,22	8,85	9,93
Aschengehalt „ „	„	18,5	14,7	15,58	15,4	14,75	15,75
Brennstoff-Verbrauch	kg/h	2 100	1 950	2 155	1 760	1 530	1 895
Brennstoff-Verbrauch auf 1 m² Rostfläche	„	168	156	172	141	124	152
Dampf	„	14 180	14 080	14 220	12 270	12 170	13 360
Dampf auf 1 m² Heizfläche	„	35,5	35,2	35,6	30,7	30,4	33,4
Betriebs-Verdampfungsziffer		6,75	7,22	6,62	6,97	7,95	7,06
Dampfdruck	at	17,9	17,3	15,9	17,1	17,4	17,1
Dampftemperatur	°C	375	365,5	361	363,5	338,6	361
Kohlensäure in den Abgasen	vH	(14) 13,8	14,6	14,4	15,0	15,0	14,5
Temperatur der Abgase	°C	279	263	268	250	261	265
Schlackengewicht, trocken gewogen	kg/h	246	204	280	254	237	245
Verbrennbares in den Schlacken	„	37	39,5	53,2	35,0	20,5	37,6
Flugasche	„	67,2	62,0	62,5	35,5	42,3	53,9
Gewinn im Schürer	vH	1,53	1,59	1,5	1,37	1,59	1,52
Verlustbilanz							
Abgas-Verlust	vH	10,34	10,12	10,35	10,05	10,65	10,3
Rückstand-Verlust	„	2,44	2,64	3,4	2,67	1,69	2,51
Flugasche	„	2,48	2,60	2,59	1,74	2,33	2,35
Strahlung und Rest	„	2,71	2,04	2,03	2,12	2,09	2,4
Wirkungsgrad	„	82,03	82,60	80,63	83,17 (gute backende Kohlen)	82,79	82,3

Strahlungsfläche infolge unmittelbaren Anbaus an einen andern Kessel, durch die schmale Bauart mit nur einem Rost und durch die hohe Kesselbelastung zu erklären.

Die Abgasverluste wurden errechnet aus dem Luftbedarf, der Gastemperatur vor dem Rauchgasvorwärmer und der Wärmeausnutzung in demselben. Der Kohlensäuregehalt der Rauchgase konnte infolge der guten, gleichmäßigen Rostbedeckung durch die selbsttätige Schürung gleichmäßig hochgehalten werden. Es ist hierbei leicht, den Kohlensäuregehalt bis über 17 vH zu treiben, jedoch ergibt sich eine praktische Grenze bei ungefähr 15 vH CO_2 wegen der Gefahr der CO-Bildung, die zwischen 15 und 16 vH CO_2 einsetzt. Bei den Versuchen trat Kohlenoxyd nur ausnahmsweise in schwachen Spuren auf. Sein Nachweis erfolgte durch Filterpapier, das, mit Palladiumchlorür getränkt, in einem Glasröhrchen in die Ansaugleitung zum Orsatapparat eingeschaltet wurde. Der gußeiserne Rauchgasvorwärmer ergab eine durchschnittliche Ausnutzung von 6,5 vH, war jedoch in seiner Wirksamkeit von dem Arbeiten der selbsttätigen Rohrabschaber abhängig.

Die Rückstandverluste bewegten sich in den Grenzen von 1,69 bis 3,4 vH (im Mittel = 2,5 vH), was unter Berücksichtigung dieses schlackenreichen Brennstoffes, der günstigen Kohlensäureentwicklung und der hohen Belastung als sehr gutes Ergebnis angesprochen werden kann. Zum Vergleich mag erwähnt werden, daß beim gleichen Gehalt an brennbaren Bestandteilen in der Schlacke eine Nußkohle von 4 vH Schlackengehalt einen Verlust infolge unvollkommenen Ausbrandes von nur 0,7 vH ergeben würde. Zu beachten ist hierbei noch, daß infolge der hohen Rostbelastung, etwa 165 kg/m², der Generator für den großen Schlackengehalt des Brennstoffes etwas knapp bemessen war. Auch das Gebläse für den Generator hätte reichlicher sein dürfen. Viele Schlackenproben, die zu einer beliebigen Zeit im Betrieb entnommen wurden, zeigen günstigere Werte als die während des Versuches entnommenen Proben, da der Kessel in dieser Zeit nicht so stark belastet war wie während der Versuche. Es ist durch entsprechende Bemessung des Generators möglich, Verlustwerte von 0,5 bis 1,5 vH im praktischen Betrieb zu erreichen. Der Wärmeverlust durch den Kühlmantel ist sehr gering, vermutlich, weil die an der Wand liegenden Schlacken eine Art Isolierschicht bilden, er bewegt sich ungefähr in den gleichen Grenzen wie derjenige von Feuerbrücken (etwa 0,3 vH). Die Schlacke war, nach dem Augenschein beurteilt, fast bei allen Versuchen durchweg gleich gut und sehr gut ausgebrannt. Die Analysen ergaben die in der Zahlentafel 1 angeführten, etwas unregelmäßigen Werte. Eine getrennte Analyse nach feinen (abgesiebten) und groben Bestandteilen zeigte sich für die Genauigkeit der Verlustbilanz als unumgänglich nötig. Auch dann noch ist eine sichere Bestimmung des Brennbaren in den Rückständen schwierig. Die Angaben über das Brennbare dürften auch etwas zu hoch sein, da Vergleichsuntersuchungen durch das Brennstofftechnische Laboratorium in Karlsruhe geringere Werte ergaben. [A 58]

Das Dampfkesselwesen und die Technischen Hochschulen.

Von Dr.-Ing. F. Döhne, Chemnitz.

Es wird auf die große Bedeutung, die dem Kesselwesen für die gesamte Wärmewirtschaft zukommt, und seine hohen Anforderungen an den Ingenieur hingewiesen und gefordert, daß die Hochschulen in den Vorlesungen, Übungen und Prüfungen den Aufgaben, die Bau und Betrieb von Kesseln stellen, mehr Wichtigkeit beilegen, als es jetzt gemeinhin geschieht. Auch muß sich die Forschung in erhöhtem Maße diesem Gebiete zuwenden, das bisher zu einseitig vom Gesichtspunkte des Praktikers und zu wenig ingenieurwissenschaftlich bearbeitet wurde, sodaß viele Probleme offen geblieben sind. Es wird Sorge des Staates sein müssen, der stetig wachsenden Bedeutung des Kesselwesens Rechnung zu tragen und den Hochschulen für dessen Pflege genügende Mittel zur Verfügung zu stellen. Dann werden sich auch führende Persönlichkeiten diesem Zweige der Technik als Lehrer und Forscher widmen können. Hochschule und Industrie aber müssen engere Fühlung miteinander nehmen und sich gegenseitig unterstützen. Die sich hieraus ergebenden Aufgaben der Industrie werden näher besprochen (Beschaffung von Lehrmitteln, Berichterstattung über technische Fortschritte, Bewilligung von Geldmitteln für Versuche, Heranziehung von Hochschullehrern zur Mitarbeit, Unterstützung der Vortragskurse an den Außeninstituten, Ausbildung von Praktikanten). Um den Austausch der Wünsche zu erleichtern, hat sich beim Verein deutscher Ingenieure ein Ausschuß gebildet, der aus Männern der Wissenschaft und Praxis zusammengesetzt ist. Durch Gemeinschaftsarbeit, die sich auch auf die Förderung des Schrifttums auf dem Gebiete der Dampferzeugung erstrecken wird, soll dazu beigetragen werden, daß dem Dampfkesselwesen die verdiente Wertschätzung zuteil wird.

Die Entwicklung des Dampfkessels ist außer durch die Fortschritte in der Herstellung der Baustoffe durch die im Laufe der Jahre zwar langsam aber stetig gesteigerten Dampfspannungen, mit denen die Kolbenmaschinen und Turbinen betrieben wurden, und die infolge Wachsens der Maschinengrößen hervorgerufene Forderung nach platzsparenden Kesseleinheiten bedingt gewesen. So wurde der alte Flammrohrkessel mit kleiner Heizfläche in den Krafthäusern allmählich verdrängt, und Wasserkammerkessel und Steilrohrkessel mit hoher Leistung eroberten sich das Feld.

Durch den Weltkrieg wurde die Weiterentwicklung zwar gehemmt, sie prägte sich aber doch in den Bestrebungen, die Kesselgrößen zu steigern und vor allem die Feuerungen zu verbessern, unverkennbar aus. Gleichwohl muß man im Hinblick auf andere Zweige der Technik, z. B. die Wärmekraftmaschinen, sagen, daß sich der Fortschritt im Dampfkesselwesen zu sehr nach dem gerade vorliegenden Bedürfnis und zu wenig nach übergeordneten Gesichtspunkten auf Grund einer planmäßigen Forschung vollzogen hat.

Wissenschaft und Praxis haben hier nicht so zusammengearbeitet, wie es notwendig ist, um ein wirklich gutes Ingenieurwerk entstehen zu lassen. Damit soll keineswegs angedeutet sein, daß der deutsche Dampfkesselbau nicht die Anforderungen befriedigt hätte, die bisher an ihn herangetreten sind. Er kann auch den Vergleich mit den Leistungen jedes anderen Landes wohl aushalten und mit Stolz sogar darauf hinweisen, wie gering im Verhältnis die Anzahl der Kesselunfälle in Deutschland gewesen ist. Dennoch hat der Kesselbau im In- und Ausland eine nicht durchweg befriedigende Entwicklung genommen, und noch heute müssen grundlegende Fragen der Baustoffe, der Konstruktion und des Betriebes von Kesseln und ihrem Zubehör als nicht genügend geklärt angesehen werden.

Wir Deutsche aber brauchen kaum auf einem anderen Gebiete der Technik so dringend eine glückliche Ergänzung von Wissenschaft und Praxis, wie gerade im Dampfkesselwesen, dessen Bedeutung in den letzten Jahren in ungeahnter Weise gewachsen ist, und von dessen Durchbildung es entscheidend abhängen wird, ob wir den großen Schaden, den unsere Volkswirtschaft durch den Ausfall wichtiger Kohlenfelder erlitten hat und durch die Belastung unserer gesamten Kohlenförderung täglich erleidet, einigermaßen werden wettmachen können. Die Bestrebungen der neuzeitlichen Wärmewirtschaft, durch zweckmäßige Steigerung der Eintrittspannung des Dampfes in den Kraftmaschinen allem erzeugten Dampf das höchstmögliche Maß sowohl von Arbeit wie von Wärme abzugewinnen, zeigen den Weg, ungeheuere Mengen von Brennstoffen zu sparen, stellen aber der Dampfkesseltechnik sehr schwierige Aufgaben, zu deren Lösung sich alle Kräfte zusammenfinden müssen.

Betrachten wir den heutigen Stand der Erkenntnis und des Könnens, so müssen wir zunächst der vorbildlichen Arbeit gedenken, die in den Laboratorien der Hochschulen, der staatlichen Materialprüfungsämter und der Privatindustrie zur Erforschung der Eigenschaften der Baustoffe geleistet worden ist. Wir haben uns ferner zu erinnern an die Summe von Erfahrungen und Fleiß in den „Deutschen Material- und Bauvorschriften für Dampfkessel", denen wir die Sicherheit unserer Kesselanlagen in erster Linie verdanken, ferner an die Gründlichkeit, mit der einzelne Fragen in den Fachzeitungen geklärt worden sind. Aber erst in neuester Zeit richtet sich die Forschertätigkeit planmäßig auf das Erkennen gewisser Eigenschaften der Baustoffe, die für die Haltbarkeit der Kessel im jahrelangen Dauerbetrieb ausschlaggebend sind. So sind Lücken in unserer Erkenntnis vorhanden, die man bei dem Alter der Kesselindustrie nicht vermuten sollte. Haben wir doch noch kein einwandfreies Verfahren für die Prüfung der Zähigkeit der Kesselbleche und keine einheitliche und wohlbegründete Auffassung über die Zuverlässigkeit der Nietverbindungen und Schweißnähte! Bei jedem Kesselblechschaden zeigt sich Unsicherheit in der Beurteilung der Ursachen, die in Fehlern im Walzwerk, bei der Bearbeitung in der Kesselschmiede oder im Betrieb des Kessels gesucht werden können.

Am wenigsten durchforscht aber sind die Vorbedingungen für die Konstruktion und den Betrieb der Kessel. Hier ist man sich über grundlegende Dinge, wie die Art des Wasserumlaufs und der Wasserspiegeleinstellung bei den einzelnen Kesselbauarten noch uneinig, und es bestehen die mannigfachsten Meinungen über die vorteilhafte Ausgestaltung des Verbrennungsraums und die beste Ausnutzung der strahlenden Wärme, die Zweckmäßigkeit der Vorwärmung der Verbrennungsluft usw. Auch weiß man nicht viel darüber, welche Spannungen beim Anheizen und Betrieb durch die Wärmeausdehnungen in die Kesselkörper und Gerüste gelangen, und wie sie am besten zu beherrschen sind. Die neuesten Ansprüche der Technik gar, Dampf von 100 at Spannung zu erzeugen und Kessel von über 1000 m² Heizfläche zu bauen, Spitzenbelastungen schnell und sicher zu bewältigen, gedämpfte Kessel mittels geeigneter Roste und sonstiger Einrichtungen in kürzester Zeit auf Vollast zu schalten und bei allem die äußerste Wirtschaftlichkeit zu erreichen, kennzeichnen eine Fülle von Aufgaben, die nur mit wissenschaftlich gebildeten Kräften und nach Vornahme gründlicher Versuche gelöst werden können.

Es geht nicht mehr an, daß der deutsche Kesselbau Zeit und Mühe auf verhältnismäßig nebensächliche Besonderheiten verwendet, die mehr aus Rücksicht auf den Wettbewerb als mit dem Ziel, etwas technisch Vollkommenes zu erreichen, in den Vordergrund gestellt wurden. Die einzelne Firma darf ihr Heil nicht mehr darin suchen, ein eigenes „System“ von Kesseln anzubieten und durch unbedeutende Sonderkonstruktionen, Patentrechte und dergl. der andern den Rang abzulaufen, sondern es handelt sich in Zukunft bei der Not unseres Landes darum, großzügige Arbeit zu tun, zusammenzustehen und gemeinsam dahin zu wirken, daß der Dampfkesselbau auf die erreichbare Höhe gebracht wird.

Wenn die Industrie heute erkennt, daß dazu ein engeres Zusammenarbeiten mit den Hochschulen und der Wissenschaft notwendig ist, daß der Dampfkesselbau nicht mehr einseitig vom Standpunkt des Praktikers, d. h. einer mehr oder weniger handwerkmäßigen Herstellung, beurteilt werden darf, sondern ingenieurwissenschaftlich gefördert werden muß, so bedeutet dies einen Wendepunkt in seiner Geschichte; denn noch bis in die jetzige Zeit hinein hat der akademisch gebildete Ingenieur in der Dampfkessel herstellenden Industrie wenig Geltung gehabt; wir finden fast durchweg, selbst in den leitenden Stellungen, frühere Schüler von technischen Mittelschulen. Der Grund ist zunächst, daß man in der Industrie auf wissenschaftliche Ausbildung des Kesselingenieurs im allgemeinen wenig Wert gelegt hat, den Hochschüler auch für zu anspruchsvoll und seine Tätigkeit, zum mindesten im Anfang seiner Laufbahn, für zu wenig nutzbringend hielt. Wenn andererseits einmal ein Diplom-Ingenieur gesucht wurde, so war er schwer zu finden, weil die meisten Studierenden die Hochschule mit dem Vorurteil verlassen, daß der Dampfkesselbau gewissermaßen eine zweite Klasse des Maschinenbaues darstelle, den man am besten Zeichnern überlasse, die nach Faustformeln und behördlich vorgeschriebenen Regeln die ein für allemal feststehenden Kesselarten zusammenstellen könnten. Es braucht nur angedeutet zu werden, daß auch hinsichtlich der verantwortungsvollen Stellungen der Kesselbetriebsleiter und Kesselüberwacher bei den Hochschülern ähnliche schiefe Anschauungen vorzuherrschen pflegen.

Das führt uns zum U n t e r r i c h t i m D a m p f k e s s e l w e s e n a n d e n T e c h n i s c h e n H o c h s c h u l e n. Es ist nicht zu bestreiten, daß dieses Gebiet der Technik auf den Hochschulen im allgemeinen nicht zu seinem Rechte gekommen ist, weil sich zunächst das Bedürfnis nach anders gearteter Ausbildung der Studierenden bisher nicht oder nicht vernehmlich genug bemerkbar gemacht hat. Hinzu kommt, daß dieses Gebiet mangels planmäßiger Aufschließung und infolge seiner ganzen Art für den Unterricht weniger leicht zugänglich ist, als viele Zweige des Maschinenbaues. Man hat sich in der Regel auf die Darlegung theoretischer, oft sogar nur wärmetheoretischer Gesichtspunkte beschränkt, die schwierigen Fragen der Baustoffe — von wenigen Hochschulen abgesehen — nur flüchtig gestreift und die Geschichte und Beschreibung der Kesselbauarten bevorzugt. Auch bei den Übungen im Entwerfen pflegen Zusammenstellungen von Flammrohrkesseln und dergl. eine Rolle zu spielen, deren Gesicht sich im Laufe der Zeiten nur wenig geändert hat, kurz, es steckt ein stark „konservativer“ Zug in der Behandlung des Kesselwesens an unseren Hochschulen.

Nimmt man nun hinzu, daß unsere Ingenieure, wenn sie die Hochschule verlassen, im allgemeinen nicht die nötige Ehrfurcht vor der K l e i n a r b e i t mitbringen und sich leichter dem „interessanteren“ Kraftmaschinenbau zuwenden — sicherlich das Ergebnis eines schwerwiegenden Mangels in unserer Hochschulerziehung —, so wird es verständlich, daß nur wenig Angebote von brauchbaren Hochschülern der Kesselindustrie zur Verfügung gestanden haben, und daß es dem Fachschüler gelungen ist, das Feld fast vollständig zu erobern, zumal sich unsere mittleren technischen Lehranstalten die Pflege des Dampfkesselwesens sehr angelegen sein lassen. Dort aber, wo sich der wissenschaftlich gebildete Ingenieur dem Dampfkesselwesen zuwandte, mußte er meist seine Geistesrichtung völlig ändern, ehe er lernte, wirklich zuverlässig auch nur die einfachsten Dinge zu beobachten, die einfachsten Messungen auszuführen und die einfachsten Konstruktionen in die Welt zu setzen.

Selbstverständlich muß jedem Spezialistentum auf den Hochschulen aus dem Wege gegangen werden, und nichts liegt mir ferner, als diesem das Wort reden zu wollen; aber die Industrie macht den Anspruch, einen Nachwuchs von den Hochschulen zu erhalten, der weiß, daß j e d e Ingenieurarbeit eine Summe von Kenntnissen und Erfahrungen und viel gesunden Menschenverstand, Fleiß und Verantwortung umfaßt, und daß dies alles dem Dampfkesselkonstrukteur ebenso wie dem Kesselbetriebsleiter in besonders hohem Maß zur Verfügung stehen muß, wenn er an der Fortentwicklung mitarbeiten oder auch nur das Vorhandene richtig anwenden will. Mit dem Vorurteil, daß die Beschäftigung mit dem äußerlich etwas rohen und ungefügen Kessel nicht unter die beste Ingenieurarbeit zu rechnen sei, muß ein für allemal gründlich aufgeräumt werden.

Dieses und die stetig wachsende Bedeutung der wirtschaftlichen Dampferzeugung für unsere gesamte Volkswirtschaft legt es den Hochschulen nahe, dem Dampfkesselwesen beim Unterricht eine größere Wichtigkeit beizumessen. Es dürfte sich kaum empfehlen, besondere Lehrstühle dafür ins Auge zu fassen, zumal es schwer sein würde, Persönlichkeiten mit der erforderlichen Vielseitigkeit zu finden. Aber es wird unumgänglich nötig sein, bei jeder sich bietenden Gelegenheit beim Unterricht in den grundlegenden Fächern der Mechanik, Festigkeitslehre, Stoffkunde usw. auf die Aufgaben und Besonderheiten des Dampfkesselwesens hinzuweisen und auf seine Probleme beim Entwerfen, bei den Laboratoriumübungen und in den Prüfungen in einer Weise Rücksicht zu nehmen, die der wirtschaftlichen Tragweite des Gegenstandes entspricht. Ferner müßten sich diejenigen Studierenden, die besondre Neigung für das Dampfkesselwesen haben, in den späteren Semestern in Sondervorlesungen eingehender unterrichten können, wobei die vorhandenen Versuchseinrichtungen nutzbar zu machen wären.

Die richtige Wertschätzung des Dampfkesselwesens aber, auch im weiteren Kreise der Hochschullehrer und der wissenschaftlichen Welt überhaupt, wird nur erzielt werden, wenn es gelingt, führende Persönlichkeiten mit Lehrbefähigung den Hochschulen zu erhalten und zu gewinnen, die es sich zur Lebensaufgabe machen, dauernd auf diesem Gebiete zu arbeiten und zu forschen. Denn hier wie überall ist die Persönlichkeit alles!

Fortschritt in der Technik ist nicht möglich, ohne daß freie sowohl wie zweckbewußte Forschung getrieben und mit allen Mitteln unterstützt wird. Es ist bereits erwähnt worden, daß auf einzelnen Gebieten, vor allem in der Lehre von den Baustoffen, mustergültige und von der ganzen Welt anerkannte Leistungen vorliegen. Unabhängig von der Fortsetzung dieser Arbeiten, die zu den dringlichsten zu rechnen sind, muß aber Antwort auf viele Fragen gesucht werden, die sich aus dem Zusammenwirken von Kessel, Feuerung, Überhitzer, Vorwärmer, Speiseeinrichtung, Kohlenförderung und allem Zubehör ergeben. Denn ein neuzeitliches Kesselhaus stellt etwas Ganzes, einen Organismus dar, dessen einzelne Glieder nur im Gesamtplan ihre Berechtigung und Beurteilung finden können. Es handelt sich also vielfach um Probleme, die nicht an Versuchstücken im Laboratorium, sondern nur an der Anlage selbst untersucht werden können.

Diese vielseitigen Aufgaben kann aber die Hochschule nicht ohne opferwillige Mitarbeit und Hilfe der Industrie lösen. Schon beim Unterricht fehlt es heute an den erforderlichen Lehrmitteln. Die Kessel bauenden Firmen müssen daher aus ihrer bisherigen Zurückhaltung heraustreten und die Lehrstühle mit den nötigen Zeichnungen, Modellen, Glasbildern usw. ausstatten. Vorbildliche Lehrmittel, wie sie dem Deutschen Ausschuß für technisches Schulwesen und der Technisch-wissenschaftlichen Lehrmittelzentrale zur Verfügung stehen, müssen für das Dampfkesselwesen neu geschaffen werden. Gerade das Lichtbild vermag viel Zeitraubendes und Geisttötendes beim

Unterricht zu ersparen und Vorstellungen von Anlagen, Einzelkonstruktionen, Probestücken und Fabrikationsvorgängen zu vermitteln, die sonst nur durch umständliche Besichtigungen gewonnen werden können.

Ferner müssen die Professoren, die sich mit dem Dampfkesselwesen näher beschäftigen, durch die verschiedenen Verbände laufend mit den Erfahrungen der Industrie und den Ergebnissen der Untersuchungen technischer Art bekannt gemacht werden, was u. a. durch die Zusendung geeigneter Vorträge aus den Tagungen der Industrie geschehen könnte. Vor allem aber muß der Zusammenhang zwischen den Hochschullehrern und der Industrie dadurch gefördert und überhaupt erst lebendig gestaltet werden, daß Hochschullehrer mehr als bisher als technische Berater zur schöpferischen Mitarbeit herangezogen werden, da es ihnen nur so möglich ist, der vielgestaltigen und schnellfüßigen Praxis wirklich gerecht zu werden. Voraussetzung ist allerdings dabei, daß der Hochschullehrer diese Tätigkeit als die natürliche Ergänzung seines Lehrberufs ansieht und behandelt, die ihn darin fördern, aber nicht seiner eigentlichen Aufgabe entfremden soll.

Die Industrie wird nun den Forschungsstätten mitzuteilen haben, welche Probleme sie geklärt zu sehen wünscht. Dabei entsteht sofort die heute alles beherrschende Frage, wie die Mittel für die Versuche aufgebracht werden sollen. Wir haben in Deutschland gut eingerichtete Versuchsanstalten, aber es fehlt das Geld, sie auszunutzen, meist schon, um die nötigen Hilfskräfte und Brennstoffe zu bezahlen; es fehlt das Geld, um angefangene wichtige Versuche fortzusetzen, ja sogar, um viele Männer der Wissenschaft, die schon während der Kriegsjahre aus Liebe zu ihrem Beruf Opfer gebracht haben, vor der Sorge um das tägliche Brot zu bewahren. Es sollen hier keine Vorwürfe erhoben werden, denn Entbehrungen werden auf der ganzen Linie von unserem Volke verlangt. Aber es ist doch eine Ehrenpflicht nicht zuletzt auch der Industrie, mit dafür einzutreten, daß die Männer, die sich der Wissenschaft gewidmet haben und Großes darin leisten, ihre Aufgaben fortsetzen können. Zunächst hätte natürlich der Staat zu prüfen, wie er verhindert, daß die Wurzeln unseres technischen Fortschritts verdorren, und wie die Hochschulen die besten Kräfte des Landes, auch tüchtige Männer der Industrie, an sich heranziehen könnten, mag es auch vorläufig nur durch besondere Stellenzulagen und die Gewährung eines Entgeltes für wertvolle wissenschaftliche Arbeiten geschehen. Die Industrie aber, die Nutznießerin der Technischen Hochschulen, welche die Befruchtung durch die Forschung als etwas Lebensnotwendiges braucht, muß, auch wenn ihre augenblickliche Lage noch so bedrängt ist, auch weiterhin wenigstens diejenigen Geldmittel aufbringen, die zur Durchführung bestimmter, genau umgrenzter Versuche nötig sind, wie dies in letzter Zeit u. a. von den Verbänden der Blechhersteller, Kesselerzeuger und in besonders großzügiger Weise von der Vereinigung der Großkesselbesitzer geschehen ist. Nur wenn Staat und Industrie hier verständnisvoll zusammengehen, kann man hoffen, daß unsere Hochschulen die Nachwirkungen der Kriegs- und Revolutionsjahre ohne schweren Schaden überwinden.

Ein wirksames Mittel, ohne besondere Kosten eine engere Fühlung zwischen Hochschule und Industrie herzustellen, ist die Einrichtung von Vortragskursen; unter Mitwirkung tüchtiger Fachleute der Praxis sollten hier auch solche die Dampferzeugung betreffenden Dinge behandelt werden, die außerhalb des eigentlichen Hochschulunterrichts liegen. Hier können die schon an mehreren Hochschulen bestehenden Außeninstitute gute Dienste leisten. Wenn bei derartigen Zusammenkünften gründliche Arbeit getan wird und neben dem Hochschullehrer und Kesselkonstrukteur auch der Betriebsmann und Kesselüberwacher zu Worte kommen, so wird dies das Bedürfnis der schon im Berufe stehenden Ingenieure nach Weiterbildung und Austausch der Erfahrungen am besten befriedigen. Hier könnten auch die Wirkungen der behördlichen Vorschriften über den Bau und Betrieb von Dampfkesseln besprochen werden, was mit dazu beitragen würde, daß sie nicht etwa das Verantwortlichkeitsgefühl einschläfern, sondern daß sie als das angesehen würden, was sie sein sollen, nämlich die Kennzeichnung des jeweiligen Standes der Technik, deren Fortschritt sie ständig angepaßt werden müssen. Eine derartige Betätigung der im Beruf stehenden Ingenieure durch Vorträge, die man möglichst auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen sollte, würde auch Gelegenheit geben, Männer kennen zu lernen, die sich für eine Lehrtätigkeit eignen. Es ist nur zu wünschen, daß sich wenigstens einige Hochschulen die Pflege des Kesselwesens in den Außeninstituten besonders angelegen sein lassen, wodurch sie zu Sammelstellen aller Erfahrungen und Bestrebungen auf dem Gebiete der Dampferzeugung werden könnten. Diese und andere Aufgaben, z. B. die gründliche und sorgfältig überwachte Ausbildung der Praktikanten in der Kesselschmiede und im Kesselhaus, deren Wichtigkeit für die Heranziehung eines geeigneten Nachwuchses nicht hoch genug veranschlagt werden kann, zeigen, wie sehr Hochschule und Industrie aufeinander angewiesen sind.

Der Verein deutscher Ingenieure hat daher auf Anregung der an der Fortbildung des Kesselwesens hauptsächlich interessierten Verbände der Blecherzeuger, Kesselhersteller, Kesselbesitzer und Kesselüberwacher einen Arbeitsausschuß ins Leben gerufen, der sich aus Männern der Industrie und von den Hochschulen zusammensetzt und die Aufgabe hat, den Austausch der Wünsche der beiden Gruppen zu erleichtern und die gegenseitige Unterstützung zu fördern. Der Ausschuß kann natürlich nicht daran denken, in die Selbstverwaltung der Hochschulen einzugreifen oder der Industrie irgendwelche Anordnungen zu geben; seine Zusammensetzung bürgt aber dafür, daß sich in vielen Fragen leichter eine Verständigung erzielen lassen wird, als wenn die einzelne Hochschule mit dem einzelnen Industriewerk oder umgekehrt in Verbindung treten würde. Ebenso will der Verein deutscher Ingenieure der Dampferzeugung in seiner Hauptzeitschrift erhöhte Aufmerksamkeit zuwenden, wie es ja schon einmal eine Zeit gegeben hat, in der er dem Dampfkessel seine besondere Neigung schenkte. Ferner wird im „Archiv für Wärmewirtschaft" dem Dampfkesselwesen ein Platz eingeräumt werden, der für regelmäßige Berichterstattung über alle einschlägigen Dinge ausreichen soll. Angesehene Verbände, wie die Vereinigung der Deutschen Dampfkessel- und Apparate-Industrie, haben sich bereit erklärt, die Schriftleitung des „Archivs für Wärmewirtschaft" durch Mitteilungen über Neuerungen an Kesseln, Feuerungen, Vorwärmern und dergleichen im Inland sowohl wie im Ausland, über Patente und auch über wirtschaftliche Fragen des Kesselbetriebs zu unterstützen. Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten sollen in die Forschungshefte übernommen werden. Ein Buch „Der Dampfkessel", das eine gemeinfaßliche Darstellung des gesamten Kesselwesens und damit die schon oft vermißte übersichtliche Zusammenfassung der Kenntnisse und Erfahrungen gewissermaßen in ein Lehrsystem bringen soll, ist vorbereitet und wird beschleunigt unter der Mitwirkung von Hochschullehrern herausgegeben werden, wie denn überhaupt jede Art schriftstellerischer Betätigung auf diesem Gebiete gefördert werden soll.

So dürfen wir hoffen, daß es durch verständnisvolles Zusammenwirken aller beteiligten Kreise gelingen wird, dem Dampfkesselwesen diejenige Wertschätzung bei uns zu verschaffen, die seiner großen Bedeutung entspricht, und ohne die seine schwierigen technischen und wirtschaftlichen Aufgaben nicht gelöst werden können. Dann werden wir auch die schon drohende Gefahr überwinden, daß wir vom Auslande, das besonders in den Kriegsjahren große Anstrengungen gemacht hat, auf diesem Gebiete überflügelt werden.

Maschine und Kessel müssen gleichberechtigte, hochwertige Glieder unserer Krafthäuser werden, in denen der Kohle, mit der wir bisher Verschwendung getrieben haben, das Äußerste an Arbeit und Wärme abgerungen wird. Wenn der Ingenieur, mit allem Rüstzeug der Wissenschaft versehen und mit der hohen Auffassung von seinem Beruf, auf die er immer stolz gewesen ist, das erreicht, so wird er unserem Volke, das unter den schwersten Lebensbedingungen, die je einem Volke gestellt sind, weiter bestehen soll und auch bestehen wird, einen großen Dienst erweisen und wesentlich dazu beitragen, daß es aus der schlimmsten Zeit auch die stärksten Kräfte schöpft, nach dem Worte, das einmal vom rechten Ingenieur gesagt ist: „Und wenn Du ihn hundert Meter unter die Erde gräbst, so wird er doch eines Tages wieder oben erscheinen!"

Über Technikererziehung.

Festrede bei der akademischen Feier der Technischen Hochschule zu Breslau am 18. Januar 1924.

Von Prof. Dr.-Ing. Julius Schenk.

Den ganzen Menschen kennzeichnet die schöpferische Leistung, und die Anleitung zum schöpferischen Schaffen kann eine Erziehung zum ganzen Menschen werden. Für die Erziehung zum Techniker ist Technik, aufgefaßt als schöpferisch produktive Arbeit und nicht als Fertigkeit verstanden, ein brauchbares Lehrmittel für die Anleitung zum schöpferischen Schaffen. Die Bedeutung der schöpferisch-produktiven Arbeit im Rahmen der Wirtschaft ermöglicht gleichzeitig auch eine grundlegende Erziehung zum Wirtschafter. Außer dem Lehrmittel ist die Lehre der Anleitung zur schöpferischen Arbeit von Bedeutung; die Eignung der Lehrperson, die Art und der Ausbau der Lehre werden zusammenfassend darzulegen versucht.

Nach akademischem Brauche steht dem zum Festredner Erkorenen die Wahl des Themas frei; erwünscht ist nur, daß der Inhalt der Rede allgemeines Interesse habe. Ich will zur heutigen akademischen Feier über Technikererziehung sprechen. Bei der Bedeutung der Technik im Kulturleben der Gegenwart darf ich bei diesem Thema auf allgemeines Interesse rechnen. Die Erziehung zum Techniker ist ja vielleicht die wichtigste Grundfrage für die Technik, wenn es sich um ihre Beziehung zur Aufwärtsbewegung des Kulturlebens handelt. Ich knüpfe an die bekannten Worte des Ingenieurdichters M. M. v. Weber an und will die von ihm aufgestellte Forderung für die alleinige Lösung des Problems der Technikererziehung zu deuten versuchen. Max Maria v. Weber schrieb:

„Es kann niemand ein ganzer Techniker werden, der nicht vorher schon ein ganzer Mensch war. Erziehet ganze Menschen, die an allgemeiner Bildung und Lebensform auf der Höhe des Völkerlebens in der zivilisierten Gesellschaft stehen, und macht aus diesen dann Techniker."

Nehmen wir uns die Worte Webers als Richtlinie für die Technikererziehung, so werden wir zur Beantwortung folgender zwei Fragen gedrängt.

Zunächst: Was ist ein ganzer Mensch?

Und dann: Worin besteht die Erziehung zum ganzen Menschen?

Ein ganzer Mensch! Ein ebenso inhaltreicher wie vielgestaltiger Begriff, der sich mit einer einzigen Projektion nicht darstellen läßt. Festgewurzelt auf dem Boden der Wirklichkeit stehen, mit klaren Sinnen, mit scharfem Verstand und starkem Herzen den Kern der Dinge erfassen, entschlossen, mutig, zielsicher zur schicksalbedeutenden Gestaltungstat schreiten und sie erfolgreich vollbringen. Diese wenigen, aber markanten Züge könnten allenfalls genügen, um in uns die Vorstellung von dem hervorzurufen, was wir unter einem ganzen Menschen verstehen. Damit ist aber die Frage nicht erschöpfend behandelt; denn die angeführten Eigenschaften des Ganzmenschen lassen ihren organischen Zusammenhang, lassen den inneren, sie hervorbringenden Grundzug nicht erkennen. Die Vorstellung vom ganzen Menschen wird klarer werden, wenn wir uns nicht darauf beschränken, seine Eigenschaften zu beschreiben, sondern wenn wir die Art seines Wirkens einer Betrachtung unterziehen und von diesem aus auf ihn selbst, auf sein Wesen schließen. Die den Ganzmenschen kennzeichnende Wirkung ist schöpferische Arbeit, die Frucht seelischer, geistiger und körperlicher Fähigkeiten.

Die schöpferische Arbeit hat gewöhnlich ihre Ursache in Bedürfnissen, sie bedeutet aber nicht, wie es scheinen könnte, eine einzige geniale Tat, sondern sie hat in der Regel mehrere Stufen von Arbeitsarten zu durchlaufen. Wenn wir den Ursprung und den allmählichen Werdegang schöpferischer Arbeit im allgemeinen verfolgen, so stellt sie sich zunächst als eine Gestaltungstat dar, die meist aus dem Gutdünken, aus dem intuitiven Gefühl heraus, in Angriff genommen und durchgeführt ist. Dann folgen die ebenso wichtigen weiteren Stadien des Schöpfungsverlaufes: Die Erprobung des Geschaffenen auf Erfüllung der zahlreichen, oft sehr verschiedenen Bedürfnis- und Interessenforderungen, ferner die Aufspürung der Ursachen der gewöhnlich zutage tretenden Mängel durch Klärung der fraglichen Zusammenhänge an der Hand eigener Forschung oder an der Hand von Natur- und anderen Wissenschaften, endlich erneutes, nunmehr planmäßiges, zielbewußtes Schaffen des Schöpfungswerkes unter Zuhilfenahme der gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse. Das Probeschaffen kann sich oft wiederholen. Erst dann, wenn sich herausgestellt hat, daß eine befriedigende Erfüllung aller an die Schöpfung gestellten Forderungen erreicht ist, ist das Werk vollendet. Diesen ursprünglichen Werdegang schöpferischer Arbeit will ich, weil in ihm alle Entwicklungsstufen vorhanden sind, als einen ungekürzten bezeichnen. Wir haben aber bei der schöpferischen Arbeit oft gekürzte Schaffenswege, nämlich dann, wenn das Arbeitsgebiet bereits vorbereitet und geklärt ist, oder wenn verwandte Schöpfungen schon vorhanden sind. In einzelnen außergewöhnlichen Fällen kann die Schöpfungstätigkeit beispielsweise auf ein „Berechnen" zusammenschrumpfen. Auch die genialen Schöpfungen sind schöpferische Arbeiten außergewöhnlicher Art und weisen meist gekürzte Schaffenswege auf, da die Genialität des Schaffenden manche Umwege erspart, Abkürzungen ermöglicht. Diese Umstände sind wichtig für die später zu behandelnde Erziehungsfrage.

Für das Verständnis schöpferischer Arbeit ist außer dem Werdegang auch die aus den verschiedenen Bedürfnisforderungen entspringende Rückwirkung auf Sittlichkeit, Persönlichkeit des Schaffenden von Bedeutung. Dieser Einfluß zeigt sich besonders bei schöpferischen Arbeiten, die vielen und sehr unterschiedlichen Interessen gerecht werden sollen. Unter anderm gehört hierzu die schöpferisch produktive, also die mit Schaffung von Nutz- und Gebrauchsgegenständen für die Lebensführung sich befassende Arbeit, deren einfachste Formen die Arbeiten des Handwerkers, des Bauern sind. Die Arbeit hat den Zweck, Bedürfnisse zu stillen und zwar die Bedürfnisse unserer Mitmenschen und zugleich unmittelbar oder mittelbar auch die eigenen, mittelbar nämlich, wenn die Erzeugnisse schöpferischer Arbeit zum Erwerb anderer erforderlicher Erzeugnisse dienen. In dieser Beziehung ist die schöpferische Arbeit auch schon ein Schaffen füreinander, bedeutet bereits ein Zusammenarbeiten und ist eine Brücke, die uns zu unseren Mitmenschen führt. Im schöpferischen Schaffen erleben wir am eindringlichsten die Bedingungen für das Zusammensein und Zusammenarbeiten der Menschen. Wir erfahren von dem Bestehen der Interessen anderer, lernen sie achten und ausgleichen durch gleichmäßige Berücksichtigung der Interessen aller am Zusammenarbeiten Beteiligten. Der schöpferisch Schaffende wird durch die Erkenntnis des Zusammenhanges der Interessen veranlaßt, in sein Erzeugnis sein Bestes, seinen Persönlichkeitswert, hineinzulegen; er erwartet allerdings, daß auch die anderen, von denen er Erzeugnisse im Austausch entgegennimmt, das Gleiche tun. Er dient den andern bestmöglich, um so sich selbst zu dienen, um in solchem Dienst an andern, an der Gemeinschaft, eine Bereicherung des inneren Menschen und äußere Gewinne zugleich zu erzielen.

Schöpferische Arbeit ist darum eine Arbeit, die den Menschen in allen seinen geistigen und sittlichen Fähigkeiten erfaßt und fördert. In der den Menschen zur Bestleistung anspornenden Eigenarbeit liegen die Quellen der Persönlichkeit. Schöpferische Arbeit erhebt zum Menschen; je hochwertiger das schöpferische Schaffen ist, um so bedeutender ist auch die Höhe des Menschentums, auf der der Schaffende wandelt.

Damit ist die erste Frage beantwortet. Ein ganzer Mensch ist der, der schöpferische Arbeit leistet. Denn die Vollbringung solcher Arbeit fordert die Anspannung und Auswirkung aller, zumal der innersten und edelsten Kräfte.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen ist nun auch der Weg gewiesen für die Erziehung zum ganzen Menschen. Da die schöpferische Arbeit den Menschen in seinen seelischen, geistigen und körperlichen Fähigkeiten lebensvoll erfaßt, so muß die Anleitung zur schöpferischen Arbeit diese Fähigkeiten wecken, fördern und schließlich zur Herausgestaltung des ganzen Menschen führen. Die weitere Frage ist nun:

Wie geht die Anleitung zur schöpferischen Arbeit als Erziehung zum ganzen Menschen vor sich?

Ich will mich bei Beantwortung dieser Frage hauptsächlich auf zwei Punkte beschränken, weil sie mir als die wesentlichsten erscheinen, nämlich

auf das schöpferische Schaffen, das als Lehrmittel dienen soll, und

auf die Art und den Aufbau der Lehre selbst.

Was zunächst das Lehrmittel anlangt, so ist als solches nicht jede schöpferische Arbeit gleich geeignet. Je ungekürzter, hochwertiger, je beziehungsreicher zu den Menschen die Arbeit ist, um so günstiger ist sie als Lehrmittel, um so größer wird darum auch der Lehrerfolg sein. Da wir einer Technischen Hochschule angehören und als Lehrer die Studierenden für den technischen Beruf heranzubilden haben, ist es naheliegend und vernünftig, das Schaffen des Technikers selbst, „die Technik", auf ihre Eignung zur Anleitung für schöpferisches Schaffen zu prüfen.

Die Technik ist schöpferisch produktive Arbeit. Sie hat sich aus dem Handwerk durch Erweiterung des Betätigungsfeldes, durch geistige Durchdringung und die damit verbundene Vervollkommnung der Arbeit entwickelt. In ihrem gegenwärtigen Stand ist die Technik aufzufassen als hochwertige, schöpferisch produktive Arbeit, hauptsächlich zur Ausbeutung und Nutzbarmachung der Natur und ihrer Kräfte, zur Überwindung von Hindernissen, welche die Natur dem Verkehr der Menschen entgegenstellt. Technik ist aufzufassen als hochwertige, schöpferisch produktive Arbeit, wie sie uns beispielsweise entgegentritt als deutsche Technik, als Werke deutscher Schaffensgabe und Schaffenskunst auf den verschiedenen Gebieten der Energiegewinnung und -umwandlung, des Hochbau-, Tiefbau-, Maschinenbauwesens, der Elektrotechnik, des Land- und Seeverkehrs. Im Sprachgebrauche finden wir noch eine andere Anwendung des Wortes „Technik", nämlich als Fertigkeit, als Komplex von Verfahren und Kunstgriffen bei den verschiedenen Tätigkeiten. Der Gebrauch dieses Wortes erscheint in den Wortbildungen: Operationstechnik, Maltechnik, Bautechnik, Fabrikationstechnik, und sein tieferer Sinn ist die Schaffung von Möglichkeiten, die vor allem eine Zeitökonomie im weitesten Umfange gestatten.

Für eine grundlegende Erziehung der Techniker, die eine Erziehung zum ganzen Menschen sein soll, hat die Technik der Technik, die vollkommenste Art aller Fertigkeiten, keinen Belang. Sie wäre hierfür nicht nur unbrauchbar, sondern sogar irreführend. In der Lehre über die Sondergebiete kommt ihr aber die größte Bedeutung zu. Die Technik als schöpferisch produktive Arbeit dagegen ist ein geeignetes Lehrmittel für die Anleitung zur schöpferischen Arbeit. Wir wollen durch einige Betrachtungen uns davon überzeugen. Die Bedürfnisse, ihre Befriedigung durch Erzeugnisse schöpferisch produktiver Arbeit und endlich der Austausch dieser Erzeugnisse haben zu einer Zusammenarbeit der Menschen, zu einer Gemeinarbeit von weltumspannender Größe, zur Wirtschaft geführt. Der ursprüngliche Zweck dieser Zusammenarbeit war, die Menschen von der Überlast der vielen täglichen Arbeiten zu befreien durch Verteilung des Schaffens der verschiedenen Erzeugnisse für den menschlichen Bedarf auf viele Köpfe und durch nachfolgenden gegenseitigen Austausch der Erzeugnisse. Diese Urform der Zusammenarbeit, der Wirtschaft, war die Naturalwirtschaft. Die Wirtschaft erfuhr mit der Zeit einen nicht mehr zu ermessenden Ausbau und bedeutende Vervollkommnungen. Die wichtigsten Erscheinungen in dieser Hinsicht sind die Einführung eines Austauschgutes, des Geldes, und die Schaffung des Handels. Aber auch der ursprüngliche Zweck der Wirtschaft änderte sich. Durch Einflüsse menschlicher Fehler wandelte sich zunächst die Bedeutung des Geldes. Allmählich kam das zinstragende Geld in Gebrauch und zu Recht. Der überragende Wert dieses Gutes im Kreise der Güter zerstörte in der Gütererzeugung, im Austausch der Güter, in der Zusammenarbeit, in der Wirtschaft, die Gleichwertigkeit der Interessen, verschob den Schwerpunkt einseitig auf die finanzielle Seite. Heutzutage haben wir in Wahrheit nur noch eine Zusammenarbeit, um den Zinsendienst zu leisten, eine Wirtschaft des zinstragenden Geldes, des „arbeitenden Kapitals". Die kulturelle Bedeutung der Wirtschaft aber schwindet; das dürfen wir uns nicht verhehlen. Es ist ganz selbstverständlich, daß der Mensch solchen Einflüssen, wie sie die moderne, im Hinblick auf das kulturelle Ziel schon entartete Wirtschaft ausübt, sich nicht entziehen kann, und daß auch eine Erziehung zum ganzen Menschen diese Einflüsse beachten muß. Die Frage, wie diese neuzeitlichen Erscheinungen für die Erziehung zu verwenden sind, stellt den Lehrer vor die folgenschwersten Entscheidungen. Ich bin der Ansicht, daß Privatwirtschaft von der Jugend nicht mißverstanden wird, und daß sie keine schädlichen Wirkungen auszuüben vermag, wenn vorher die Jugend die Wirtschaft entwicklungsgemäß kennen lernt, wie es für eine Materie, die mit dem Leben des Menschen so innig zusammenhängt, unerläßlich ist. Vor allem muß die Jugend das Grundsätzliche der Wirtschaft, und zwar der gesunden Wirtschaft, nicht nur kennen lernen, sondern durch Eigenarbeit selbst erleben, damit es ihr in Fleisch und Blut übergeht. Dieses Grundsätzliche der Wirtschaft ist, wenn wir Wirtschaft von höchster Warte, vom Standpunkt des Menschentums aus betrachten — und diesen Standpunkt müssen wir unbedingt einnehmen —, das Zusammenarbeiten der Menschen, Staaten und Völker, um die Lebensbedürfnisse zu stillen, um der Erhaltung und der Hebung der Menschheit zu dienen. Diese Zusammenarbeit macht die Menschen voneinander abhängig, bedingt Leistung und Gegenleistung für jeden. Bei der Abfindung spitzt der stets vorhandene, durchaus gesunde Gegensatz der Interessen sich nicht zu, sondern er gleicht sich aus, wenn nur jeder mit seinem Schaffen anderen, der Gemeinschaft, dient, um damit sich selbst zu dienen, und jeder also diejenigen Voraussetzungen erfüllt, auf die Treu und Glauben sich gründen. Die Forderung des Gemeinschaftslebens ist eben ein wesentlicher Teil des gesunden Eigenlebens. Diese Wesenszüge wahrer Wirtschaft können nur durch Arbeit selbst erfahren werden, können ganz besonders an der oft geringschätzig behandelten schöpferisch produktiven Arbeit gezeigt werden, und zwar für den künftigen Techniker am besten an der Technik als schöpferisch produktiver Arbeit. Dort muß nämlich diese Zusammenarbeit der Menschen und das Zusammenklingen der verschiedenen Interessen vom Schaffenden im voraus durchgedacht werden, und den Überlegungen entsprechend werden dann die Maßnahmen für das zu schaffende Werk getroffen. Gut und billig soll das Werk werden bei eigenem Nutzen des Schaffenden und des hinter ihm stehenden Geldgebers. Die Interessen des das Werk Empfangenden und die des Schaffenden bzw. des Unternehmers werden bei der Arbeit mit aller Gründlichkeit und Sachlichkeit geprüft, abgewogen und entschieden.

Wir können darum mit Recht sagen: Technik ist ein Vorbild geworden für schöpferisch produktives Schaffen, für Zusammenarbeit, sie ist eine Zuchtzelle gesunder Wirtschaft und dank diesen Eigenschaften ein hervorragendes Lehrmittel für die Erziehung des ganzen Menschen.

Nachdem das Lehrmittel gefunden ist, gehe ich auf die Anleitung zur schöpferischen Arbeit über. Bei der Anleitung zur schöpferischen Arbeit kommt es natürlich zunächst auf die Person des Lehrers an. Es ist durchaus nicht selbstverständlich, daß ein schöpferisch Schaffender — also nicht nur schöpferisch produktiv Schaffender — auch versteht, schöpferische Arbeit zu lehren. Die Erfahrung zeigt, daß die Anleitung zur schöpferischen Arbeit als schwierig gilt, und vielfach wird behauptet, es sei überhaupt nicht möglich, zur schöpferischen Arbeit anzuleiten. Diese Ansicht rührt wohl daher, daß man hierbei immer an geniale Schöpfungen denkt. Für solche Ausnahmefälle ist die Behauptung zutreffend. Im allgemeinen aber ist schöpferische Arbeit lehrbar.

Das Entscheidende für die Eignung einer Lehrperson zu dieser Anleitung ist, daß es nicht genügt, daß der schöpferisch Schaffende nur schöpferische Leistungen vollbrachte, sondern daß er eine weitere schwierige, unerläßliche Leistung an sich selbst aufweisen kann, nämlich daß er sich des Wesens schöpferischer Arbeit auch bewußt geworden ist. Das menschlich schöpferische Schaffen läßt sich in der Regel auf elementare, einfachste, in der Wirklichkeit fußende Erkenntnisse zurückführen. Alles übrige am Schaffen ist nur mehr oder weniger reiche Wiederholung und Verknüpfung dieser elementaren Wahrheiten. Hat sich der Schaffende in seinem Arbeitsgebiete zu dieser Abklärung durchgerungen, dann ist er seines Schaffens sich bewußt, dann ist er aber auch fähig, das ihm bewußt gewordene anderen zu lehren. Das Sichbewußtwerden der Elemente, aus denen schöpferische Arbeit quillt, bedeutet ein Vordringen in die Tiefe des Wesens der Arbeit. Die Erkenntnis aus den Tiefen befähigt allein zum ursächlichen, schöpferischen Wirken, sie ist zugleich die notwendige Voraussetzung für die Anleitung.

Zu dieser Vertiefung in den Aufbau schöpferischer Arbeit werden wir im allgemeinen bei Ausübung des Schaffens nicht genötigt, weil wir in Wissen und Können auf den Schultern anderer stehen, weil die weitgehende Arbeitsteilung bei vielen schöpferischen Arbeiten häufig die wichtigsten Vorgänge schöpferischer Ganzarbeit übergehen und in Vergessenheit geraten läßt, und weil die mühelose Übernahme von Arbeitsfrüchten früherer Zeiten und der Mangel an Kenntnis des organischen Zusammenhanges der Wirtschaftsarbeit das Bewußtwerden der schöpferischen Arbeit ausschließt. Bei der Anleitung zur schöpferischen Arbeit wird der Lehrende aber immer wieder erfahren, wie sich seine Lücken in der Eigenganzarbeit dem Studierenden empfindlich bemerkbar machen und ihn hemmen. Manche schöpferisch Schaffende, besonders geniale Schöpfer, sind trotz großer Erfolge im Leben überhaupt nicht imstande, ihr Schaffen zu lehren, und viele Schaffende beschränken sich darauf, als Lehrer Methoden, Fertigkeiten zu vermitteln. Eine Lehre schöpferischer Arbeit verlangt aber, daß der Lehrer den Studierenden die Haupt- und Urquellen, die Zusammenhänge schöpferischer Arbeit am lebendigen, einfachen Beispiele des Schaffens durch Eigenarbeit erleben läßt und ihm dann zeigt, daß alles weitere nur Wiederholung, vielgestaltige, reichere Verknüpfung derselben Grundgedanken ist.

Besonders hervorgehoben sei noch, daß der Vorgang des Sichbewußtwerdens des Wesens schöpferischer Arbeit nicht nur für die Lehre, sondern auch für die Vollendung des Schaffens, für vollwertiges Schaffen selbst, von Bedeutung ist. Durch das Sichbewußtwerden des Schaffens wird noch viel Überflüssiges

abgesondert, die einzelnen Vorgänge des Schaffens und das Schaffen selbst werden dann meist auch auf eine völlig neue, und zwar tiefere und umfassendere Grundlage gestellt.

Mit dem einzelnen Lehrer ist aber die Anleitung zur schöpferischen Arbeit noch nicht erledigt; wie M. M. v. Weber deutlich zum Ausdruck bringt, muß die Erziehung zum ganzen Menschen die Unterströmung sein, von der jede andre Bildung getragen wird. Solch tiefgehende Bildungsbewegung kann nicht von einem Lehrer hervorgebracht werden, sie verlangt eine Organisation des gesamten Unterrichtes, vor allem eine Trennung des Unterrichts in zwei Stufen,

in grundlegenden Unterricht als Anleitung zur schöpferischen Arbeit als Erziehung zum ganzen Menschen,
in Fachunterricht als Ausbildung in Spezialgebieten, Theorien, Methoden und Fertigkeiten.

Für den grundlegenden Unterricht im besonderen gilt noch folgendes: Als Lehrmittel dient der Werdegang schöpferischer, unter anderm auch technischer Ganzarbeit. Die Schule setzt bei Verwendung der Technik als Lehrmittel an die Stelle der nach Gefühl und Gutdünken entstandenen Schöpfungstat zum Zwecke der Anleitung ein einfaches vorhandenes Werk der Technik mit möglichst ungekürztem Werdegang; denn die Unterweisung kann natürlich nicht von der verwickelten und hochwertigen Gestaltungstat ihren Ausgang nehmen. Das übrige, was an Arbeit zu leisten ist, und das ist durchaus nicht der geringere Teil sondern, wie der Sachkundige weiß, der Hauptteil, kann an der Schule gezeigt werden, und zwar dem von mir schon kurz angedeuteten Werdegang schöpferischer Arbeit folgend unter Anwendung auf die Technik: Die Beurteilung des geschaffenen Werkes durch Aufstellung der Gesamtwirkungsgrade in Richtung der verschiedenen Interessen als erste schöpferische und auch wirtschaftsmäßige Handlung an der Schule; Schlußfolgerung aus den Wirkungsgraden; zur Aufdeckung der Mängel Aufstellung von Teilwirkungsgraden; Klärung der in Frage kommenden Zusammenhänge entweder durch eigene Forschung oder durch Zuhilfenahme der Erkenntnisse einer zuständigen Wissenschaft; Verarbeitung der gewonnenen Erkenntnisse zu Erfahrungen; Aufstellen von Richtlinien für die denkbar wirkungsvollste Schöpfung; endlich ein Sicherheben über die Schöpfung, umfassende Betrachtung des in Frage kommenden Bedürfnis- und Interessenkomplexes, dem die Schöpfung dienen sollte, und allenfallsige Schaffung von Bedürfniskombinationen, die eine restlose Befriedigung aller Interessen durch die Schöpfung ermöglicht, das höchste Ziel.

Nach diesen Einführungen in schöpferische Arbeit erfolgt nunmehr erst die Anleitung zu schöpferischer Arbeit selbst am besten als Schaffen einer dem betrachteten Werke ähnlichen Schöpfung, und damit ist das Lehrverfahren abgeschlossen.

Meine jungen Freunde! Ich habe das Thema „Erziehung zum ganzen Menschen" für meine heutige Rede gewählt nicht nur, weil ich für Erziehungsfragen von jeher ein großes Interesse hatte, sondern weil ich gerade dieses Thema für den heutigen Tag, den Geburtstag des Deutschen Reiches, als besonders geeignet erachte. Zerstückelt, geknechtet, in schwerster Not, ist das Deutsche Reich. Besitz, Gleichberechtigung, Freiheit, alles ist dem deutschen Volke genommen. Vergeblich werden wir auf Hilfe von außen warten. Mit einem Schwächlinge hätte auch niemand Erbarmen. Wir müssen uns selbst helfen. Zum mindesten müssen wir den Versuch machen, uns selbst aufzurichten. Dazu brauchen wir Kraft, und zwar vor allem schöpferische Kraft. Diese schöpferische Kraft ist aber, wie ich zeigte, durch Erziehung weckbar und förderbar, vorausgesetzt, daß die nötige Intelligenz vorhanden ist, was beim deutschen Volke ganz sicher zutrifft. Von der Schule und von Ihnen hängt es ab, daß möglichst viele zum schöpferischen Schaffen Befähigte und Emporgebildete, also ganze Menschen, dem Vaterland zur Verfügung gestellt werden können. Wahrhaft vaterländisch sein heißt für Sie, meine jungen Freunde: Zunächst und vor allem an der Schule seine Pflicht tun! Mögen Ihnen die von mir dargelegten Gesichtspunkte dazu verhelfen! Ich wünsche, daß Sie die Bedeutung des alten Weisheitsspruches erkennen möchten: Wir lernen für das Leben und nicht für die Schule. Ich wünsche, daß Sie der tieferen Bedeutung Ihrer Erziehung fürs Leben, die Ihnen an der Hochschule geboten wird, sich immer mehr bewußt werden und sich selbst zu den edlen hochwertigen Persönlichkeiten herausgestalten, derer das Vaterland so dringend bedarf.

Ich gebe mich der Erwartung hin, daß meine Worte auf fruchtbaren Boden gefallen sind, denn noch ist die deutsche studierende Jugend ideal gesinnt und begeisterungsfähig, noch ist die deutsche Jugend hochstrebend, arbeitsfreudig und tatkräftig. [A 165]

Über die Ursachen der vorzeitigen Zerstörung von Rippenschwellen.

Wie viele Forscher sich auch schon jahrelang damit beschäftigt haben, über die Ursachen für das Rosten völlige Klarheit zu schaffen, so sind doch unsre Kenntnisse darüber auch heute noch sehr unvollkommen. In dankenswerter Weise haben Dr.-Ing. R. Kühnel und Dr. phil. G. Marzahn[1]) vom Eisenbahn-Zentralamt in einer Reihe sorgfältiger Versuche die Schäden an eisernen Rippenschwellen aus dem Betriebe verschiedener Reichsbahn-Direktionen durch Untersuchung der chemischen und mechanischen Eigenschaften des Gefüges und durch Betriebsversuche aufzuklären sich bemüht.

Zwar soll nach Dr.-Ing. A. Diehl[2]) die Lebensdauer eiserner Schwellen durchschnittlich 25 bis 30 Jahre betragen, doch müssen die Schwellen häufig schon nach überraschend kurzer Zeit ausgewechselt werden. Vielfach glaubte man, die außergewöhnlich starke Zerstörung durch Rost sei auf eine abweichende Zusammensetzung des Werkstoffes zurückzuführen. „Die Ursachen der vorzeitigen Zerstörung können gesucht werden im Herstellungsverfahren — Thomas- oder Martineisen —, in einer Anreicherung der nichtmetallischen Beimengungen, z. B. Phosphor und Schwefel." „Es kann die Form der Schwelle von Bedeutung sein, die Art der Bettung, und schließlich kommen die schwerer festzustellenden Einflüsse der Außenluft, ihre Feuchtigkeit und etwa darin enthaltenen Gase in Frage."

Die Schwellen sind häufig, vor allem unter der Schienenauflage, so verrostet, daß mehrere Lagen 1 bis 2 mm dicker Rostplatten abspringen und die Rippen teilweise völlig abgerostet sind. Es treten Längsrisse auf, in die seitlich einspringende Querrisse einlaufen. Häufig zeigen sich die Risse in dem unterhalb der Auflageplatte der Schiene liegenden Teile der Schwelle. Strahlenförmige Risse finden sich am Hakenloch. Die Schwellen sind an den Schienenauflagen meist gebrochen.

Das Ergebnis der Untersuchungen in verschiedenen staatlichen und privaten Anstalten fassen die beiden Forscher wie folgt zusammen:

Die Prüfungen verrosteter Schwellen verschiedener Herkunft geben keinen Anhalt dafür, die Ursachen des Rostens hauptsächlich in der Stoffbeschaffenheit zu suchen. Auch Wechsel in der Bettung der Strecke oder die Verschiedenheit der Gegenden (ländliches oder Industriegebiet) scheinen keine unmittelbaren Ursachen für verstärktes Rosten zu sein. Dagegen ist anzunehmen, daß die Bauform der Rippenschwellen vor allem starkes Rosten begünstigt. Die Beschädigungen an den Hakenlöchern sind auf Verquetschen des Gefüges beim Lochen der Schwellen zurückzuführen, wobei mikroskopisch feine Risse entstehen. Sie vergrößern sich im Betrieb und die Schwelle biegt sich stärker durch, sobald diese Risse eine bestimmte Größe erreicht haben. Infolgedessen reibt sich die Schienenplatte stärker auf der Schwelle und der Verschleiß nimmt dadurch an dieser Stelle schnell zu.

Die Zerstörungen der Schwellenschenkel sind vor allem in dem rechnerisch wohl zwar zureichenden, aber doch verhältnismäßig schwachen Querschnitt der stark auf Durchbiegung beanspruchten schrägen Schenkel begründet. Die Rostbildung vermindert den Querschnitt schnell. Unter den fahrenden Zügen erleidet der schräge Schenkel stark wechselnde Durchbiegungen, und dabei lösen sich die nicht elastischen Rostschichten immer wieder ab, bis schließlich an der am höchsten beanspruchten Stelle nahe der Schienenauflage ein Riß entsteht, der sich im Laufe der Zeit in der Längsrichtung des Schenkels fortsetzt. Sind diese Längsrisse erst einmal vorhanden, so wird die nun ungeschützte Schwellendecke von der Auflageplatte der Schiene her dauernd in der Richtung der Längsachse durchgebogen, und hierbei entsteht dann allmählich in dem der Fahrtrichtung zugewandten Schenkel der Längsriß mit den seitlich einspringenden Querrissen, die wieder das Rosten durch Abspringen eben gebildeter Rostschichten beschleunigen und schnell zur Gewichtsverminderung und völligen Zerstörung der Schwelle führen. Später bilden sich dieselben Risse auf der entgegengesetzten Seite der Schwelle, hier allerdings in geringerem Umfang, und in der Nähe der Schienenauflage, wo die Durchbiegung am stärksten ist.

Das Durchrosten von Schwellenenden entsteht in Kaligegenden dadurch, daß beim Verschieben der Züge die Salze aufgerüttelt werden, und daß bei der Ausfahrt dann die Kalisalze aus den Wagen auf die Schwellenenden fallen. Im Verein mit der Feuchtigkeit wirkt der Gehalt an Magnesiumsalzen der Kalisalze, wie auch Laboratoriumversuche bestätigten, in sehr kurzer Zeit stark zerfressend auf die Schwellen ein. Der Temperaturwechsel und die Beanspruchungen der Schwellen durch die rollenden Züge beschleunigen dann die einmal begonnene Zerstörung.

Vergleichende Versuche mit Schwellen der gleichen Schmelzung haben einwandfrei gezeigt, daß man die Schwellen auf ein Jahr vor dem Beginn des Rostens schützen kann, wenn man sie nach dem Auswalzen bei Blauwärme (300 °C) mit einem Teerüberzug versieht. Blättert dieser später ab, so beginnen geteert gewesene Schwellen genau so zu rosten wie ungeteerte. [M 185] Dr. Nd.

[1]) Stahl und Eisen, Bd. 44 (1924) S. 175.
[2]) „40 Jahre Eisenschwellenoberbau", Doktor-Dissertation, T. H. Karlsruhe 1922.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Kältetechnik.

Die spezifische Wärme von überhitztem Ammoniakdampf.

Über die im Bureau of Standards in Washington ausgeführten Messungen der spezifischen Wärme c_p von überhitztem Ammoniakdampf, deren Ergebnis in dieser Zeitschrift bereits mitgeteilt worden ist[1]), liegt nun ein ausführlicher Bericht[2]) vor. Das Ammoniak wurde zunächst bis auf etwa 0,01 vH fremde Bestandteile gereinigt[3]). Die Bestimmung von c_p wurde nach dem Verfahren der elektrischen Erwärmung im Dauerstrom ausgeführt, wobei die Dampfmenge durch Kondensation und Wägung ermittelt wurde.

Abb. 1 gibt die Versuchsanordnung wieder. In dem Verdampferbad A wird Ammoniak aus den Flaschen D verdampft und durch die Ventile E, F, K gedrosselt und überhitzt. Der Dampf strömt dann durch das Kalorimeter T_1, H, T_2, das im Kalorimeterbad B liegt. Die Ein- und Austrittemperatur wird mit den Platinthermometern T_1 und T_2 gemessen, die Erwärmung durch die Heizspule H bewirkt. Das im Ventil J entspannte Gas strömt durch die ebenfalls in Bad B befindlichen Kontrollstauränder L und dann in die im Kondensatorbad C stehenden Gasflaschen N, in denen es verdichtet und dann gewogen wird. M_1, M_2 sind Manometer, P eine Druckwage, Q, V, R ist ein selbsttätiger Druckregler, durch den ein die Ventile E und F öffnender und schließender Motor umgesteuert wird.

Während der Druckregler noch einer gewissen Beaufsichtigung bedurfte, wurde die Temperatur der Bäder völlig selbsttätig geregelt durch die in Abb. 2 dargestellte Vorrichtung, die in das Bad gehängt wurde. In dieser Abbildung bedeutet 1 eine mit Kohlensäure beschickte Kühlschlange, 2 einen elektrischen Heizkörper, 3 einen Rührer, der durch die biegsame Welle 7 angetrieben wird, 4 eine Rohschlange, bestehend aus 2,90 m Kupferrohr von 5 mm Dmr. und 68 mm Windungsdurchmesser. Die Schlange ist für Bäder bis 70° mit Toluol, über 70° mit Mineralöl

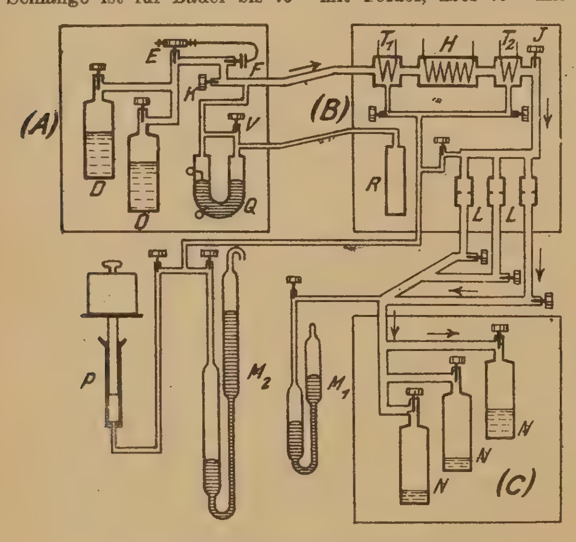


Abb. 1. Schema der Versuchsanordnung.

gefüllt. Ihre beiden Enden führen zu dem Kontaktgeber 5 und dem Einstellventil 6. Erwärmt sich die Flüssigkeit in 4, so steigt sie bei geöffnetem Ventil 6 in das Glasgefäß oberhalb des Ventilsitzes. Ist die gewünschte Badtemperatur erreicht, so wird 6 geschlossen und bei weiterer Temperaturzunahme von dem Quecksilber in 5 ein elektrischer Nadelkontakt betätigt. Von diesem aus wird über einen Motor zunächst das Kohlensäureventil geöffnet und die etwas zu starke Kühlung dann durch Heizung von 2 aus so weit ausgeglichen, bis das Spiel von neuem beginnt. Das Ganze steckt in einem 75 mm weiten Zylinder 8. Die Feineinstellung der Temperatur erfolgt durch Verschieben der Nadel in 5. Es soll mit dieser Vorrichtung gelungen sein, die Temperatur des Kalorimeterbades während einer halben Stunde und länger völlig selbsttätig unverändert auf 0,001° zu halten.

Abb. 3 zeigt einen Schnitt durch das Kalorimeter, wobei die dicken Linien Kupfer, die dünnen Neusilber bedeuten. Der Dampf strömt zunächst abwärts durch die Schlange B, dann aufwärts und abwärts durch die Schlange G_1, dann um das Thermometer T_1 und wieder durch eine Schlange in die Heizwicklung H, von hier abwärts und durch die Schlange S_2 wieder aufwärts, endlich um das Thermometer T_2 und durch eine letzte Schlange und von dieser abwärts aus dem Apparat. Die Schlangen sind von Kupfergehäusen umschlossen und getragen, die von der Leitung V aus bis auf weniger als 0,001 mm Q.-S. Unterdruck gebracht werden. Die Neusilberschlangen verringern die Wärmeverluste durch metallische Leitung, die Vakuumhülle die durch Gasleitung, die Kupfergehäuse, insbesondere das elektrisch geheizte Gehäuse GH und G_2 den Strahlungsverlust. 21 Thermoelemente ermöglichen die Kontrolle des kleinen Wärmeaustausches, der unvermeidlich ist; zwei Manometeranschlüsse P_1 und P_2 dienen zur Druckmessung. Sämtliche Drähte gehen durch das Rohr D. Das ganze Kalorimeter hat kaum 20 cm Höhe und 5 cm Dmr. und somit eine so geringe Wärmekapazität, daß in der Regel schon nach 45 Minuten der Dauerzustand erreicht war.

Die Berechnung der spezifischen Wärme bei konstantem Druck c_p aus den gemessenen Werten wurde ausgeführt nach der Formel

$$(c_p)_{p_2, t_m} = \frac{\Delta q}{\Delta t} + (\mu c_p)_{p_m, t_1} \frac{\Delta p}{\Delta t} - \left(\frac{\partial^2 c_p}{\partial t^2}\right)_{p_2, t_m} \frac{(\Delta t)^2}{24} - \cdots \quad (1).$$

In dieser Gleichung bedeutet p den Druck und t die Temperatur. Der Index 1 bezieht sich auf den Zustand an der Meßstelle T_1, P_1 des Kalorimeters (s. Abb. 3), Index 2 auf den Zustand bei T_2, P_2 und

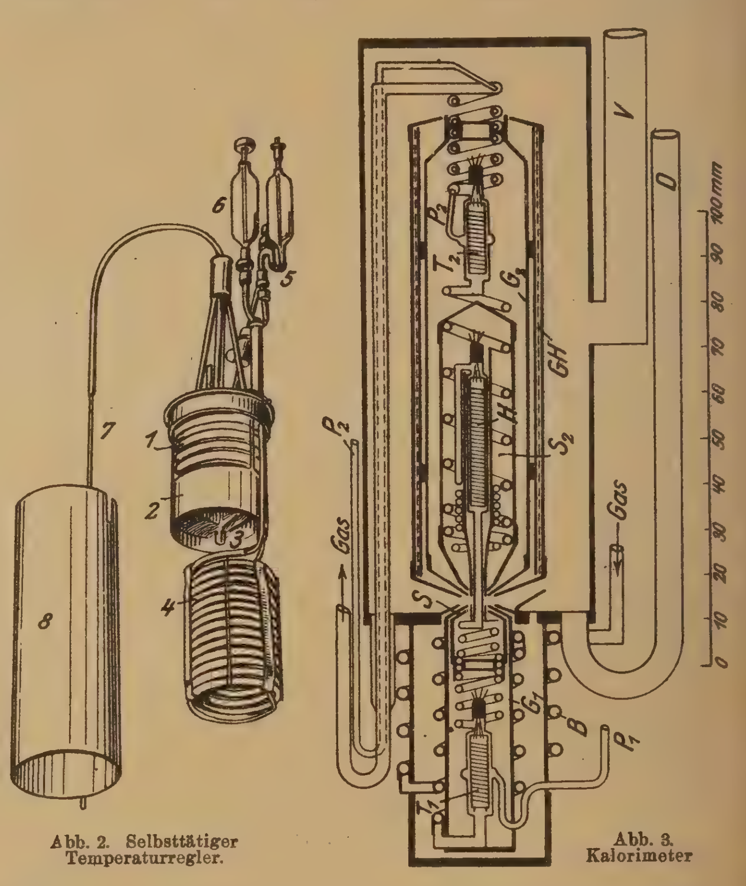


Abb. 2. Selbsttätiger Temperaturregler.

Abb. 3. Kalorimeter

Index m auf den Mittelwert. Δq ist die im Kalorimeter der Masseneinheit des Dampfes zugeführte Wärmemenge, $\Delta t = t_2 - t_1$ die hierdurch erzielte Temperaturzunahme. μ endlich bedeutet den Thomson-Joule-Effekt. Hiernach wäre das erste Glied rechts der Gleichung die spezifische Wärme, wenn der Dampf im Kalorimeter keinen Druckabfall erlitte und wenn c_p eine lineare Funktion von t wäre. Das zweite Glied ist eine Berichtigung für den Druckabfall. Das dritte Glied und die folgenden, nicht mehr in Betracht kommenden Glieder bedeuten eine Berichtigung für nicht linearen Temperatureinfluß; sie sind durch Entwicklung nach der Taylorschen Reihe gewonnen. $\Delta q = h - v$ ist gleich der auf die Masseneinheit des strömenden Dampfes bezogenen Heizwärme h des elektrischen Heizkörpers H abzüglich des ebenfalls auf die Masse 1 bezogenen Wärmeverlustes v im Kalorimeter, der durch besondere Versuche bestimmt wurde und selten über 0,2 vH von Δq betrug. Der Thomson-Joule-Effekt μ wurde ebenfalls durch besondere Messungen ohne elektrische Heizung in H festgestellt, bei denen also $h = 0$ war; da μ nur zur Berichtigung diente, war keine besondere Genauigkeit erforderlich und genügte zur Berechnung die Formel

$$\mu = \frac{\Delta t}{\Delta p} - \frac{v}{(c_p)_{p_m, t_m} \cdot \Delta p} \quad \ldots \ldots \quad (2),$$

in der $\Delta p = p_1 - p_2$ den Druckabfall im Kalorimeter bedeutet. Das zweite Glied rechts in dieser Gleichung, das eine Berichtigung für den Wärmeverlust darstellt und worin c_p nach vorläufigen Ermittlungen einzusetzen ist, betrug bis zu 8 vH von μ. Aus den Versuchspunkten hat der Berichterstatter die Zahlentafel 1 für den Thomson-Joule-Effekt des Ammoniakdampfes bei 1 at ermittelt.

---

[1]) M. Jakob, Z. Bd. 67 (1923) S. 349.

[2]) N. S. Osborne, H. F. Stimson, T. S. Sligh jr. und C. S. Cragoe, Refrigerating Engineering Bd. 10 November 1923 S. 145.

[3]) E. C. Mc Kelvey und C. S. Taylor, Refrigerating Engineering Bd. 9 (1923) S. 213, Scientific Papers des Bureau of Standards Bd. 18 (1923) Nr. 465 S. 655.

Zahlentafel 1. Thomson-Joule-Effekt μ für Ammoniakdampf von atmosphärischem Druck.

Temperatur . . °C	— 20	0	20	40	60	80	100	120	140	160
μ . . . . . °C/at	5,15	3,7	2,9	2,3	1,95	1,65	1,4	1,15	0,95	0,8

Eine Abhängigkeit des Thomson-Joule-Effektes vom Drucke war im Bereich der Versuche, die sich bei 110° bis 14 at, bei 30° bis 10 at, bei —5° bis 3 at erstreckten, nicht zu bemerken.

In Zahlentafel 2 ist die von den Verfassern nach ihren 108 endgültigen Versuchen aufgestellte Tabelle der spezifischen Wärme des Ammoniaks für 0 bis 20 physikalische Atmosphären (1 Atmosphäre = 760 mm Quecksilbersäule) und —30° bis 150° wiedergegeben.

Endlich mögen noch einige wichtige vom Bureau of Standards aufgestellte Formeln für den überhitzten Ammoniakdampf mitgeteilt werden, nämlich eine empirische Zustandsgleichung (3), eine Gleichung (4) für das Produkt aus dem Thomson-Joule-Effekt μ und der spezifischen Wärme c_p und eine Formel (5) für c_p selbst, die die Versuchswerte im Mittel auf 0,07 vH genau wiedergeben soll:

$$v = \frac{RT}{p} - \frac{A}{T^3} - \frac{Bp + C}{T^{11}} - \frac{Dp^5}{T^{19}} - E + T f(p) \quad . \; . \; . \; . \; (3).$$

In dieser Gleichung ist v das spezifische Volumen in $cm^3\ g^{-1}$, p der Druck in physikalischen Atmosphären, $T = 273{,}1 + t$ die absolute Temperatur,

$R = 4{,}8187$ die Gaskonstante für Ammoniak und ferner
$A = 3{,}40645 \cdot 10^8$, $B = 3{,}2820 \cdot 10^{26}$, $C = 3{,}6934 \cdot 10^{26}$,
$D = 7{,}1166 \cdot 10^{40}$, $E = 2{,}6000$ und
$f(p) = (5955{,}66 - 528{,}45\,p + 24{,}589\,p^2 - 0{,}3538\,p^3) \cdot 10^{-6}$.

$$\mu\, c_p = \frac{1{,}816 \cdot 10^8}{T^3} + \frac{(5{,}91 + 5{,}25\,p)\,10^{26}}{T^{11}} + \frac{1{,}90\,p^5 \cdot 10^{41}}{T^{19}} + 0{,}347 \; . \; . \; (4).$$

In Gl. (4) ist p in physikalischen Atmosphären, $\mu\, c_p$ in Joules für 1 g und 1 m Quecksilbersäule Druckabfall ausgedrückt. Durch Multiplikation mit $\frac{0{,}7355}{4{,}184} = 0{,}1757$ erhält man $\mu\, c_p$ in kcal für 1 kg und 1 at (= 735,5 mm Quecksilbersäule) und hieraus durch Division mit c_p in cal/g oder kcal/kg) den Thomson-Joule-Effekt in °C/at, wie in Zahlentafel 1.

$$c_p = 1{,}1255 + 0{,}00238\,T + \frac{76{,}8}{T} + \frac{5{,}45\,p \cdot 10^8}{T^4} + \frac{p\,(6{,}5 + 3{,}8\,p) \cdot 10^{27}}{T^{12}} + \frac{2{,}37\,p^6 \cdot 10^{42}}{T^{20}} \quad . \; . \; (5).$$

In dieser Gleichung ist ebenfalls c_p in Joules für 1 g und 1 °C, p in m Quecksilbersäule ausgedrückt. Durch Division mit 4,184 erhält man c_p in dem üblichen Maß [kcal/kg].

Durch die Bestimmung fast sämtlicher Eigenschaften des Ammoniaks hat das Bureau of Standards der mit diesem Stoff arbeitenden Kälteindustrie kaum zu übertreffende wissenschaftliche Hilfsmittel geschaffen[1]). [R 143] Max Jakob.

[1]) Die Ergebnisse der Untersuchungen sind zusammengestellt in den „Tables of thermodynamic properties of ammonia" (Circular Nr. 142 des Bureau of Standards, Washington. 1923; zu beziehen vom Government Printing Office, Washington zum Preis von 15 c). Hierin ist auch ein Mollier-Diagramm enthalten (Bureau of Standards Miscellaneous Publications Nr. 52; auch einzeln zu beziehen von der soeben genannten Stelle zum Preis von 5 c). In diesen Tafeln ist leider das englische Maßsystem benutzt; die Herausgabe von Tafeln in metrischem Maß wird angekündigt.

Dampfkraftanlagen.

Versuche an der Hochdruckdampfanlage von Benson.

Vor kurzem hat W. A. Johnston, Oberingenieur der Benson Engineering Co., einige Mitteilungen über Ergebnisse von Vorversuchen an der im Entstehen begriffenen Versuchsanlage in Rugby bekanntgegeben[2]), denen ein Vertreter der Willans-Werke beigewohnt hat.

Zunächst wurde die Anlage durch den Beauftragten einer Versicherungs-Gesellschaft 20 Minuten lang einer Wasserdruckprobe bei rd. 450 at unterworfen, die einwandfrei verlief, da alle Schweißstellen und Flanschverbindungen trocken blieben und auch sonst keinerlei Anzeichen von ungenügender Widerstandsfähigkeit auftraten. Auf Grund dieses Versuches wurde die Anlage zum üblichen Satz zur Versicherung angenommen.

Bei dem darauf folgenden Betriebversuch wurde der Überhitzer an einen Oberflächenkondensator angeschlossen, worin der gesamte erzeugte Dampf niedergeschlagen wurde. Zwischen Überhitzer und Kondensator war ein Überdruckventil eingeschaltet, das auf rd. 105 at eingestellt war, und die Energie des austretenden Dampfes wurde durch Expansion in einer Düse teilweise vernichtet, damit der Kondensator nicht zu hoch beansprucht wurde. Ähnlich wie im Überhitzer wurde auch im Dampferzeuger der Druck gleichförmig erhalten, jedoch auf rd. 224 at.

Am 17. Februar 1922 wurde der Kessel mittels der Ölbrenner angeheizt, wobei man den Druck von 224 at eine Stunde lang einhielt. Am folgenden Tage wurde ein sechsstündiger Heizversuch durchgeführt. Bei 227,7 at Überdruck und 385 °C im Dampferzeuger ergab sich beim Eintritt in den Überhitzer infolge der Drosselung auf 105 at eine Temperatur von rd. 326 °C, die im Überhitzer im Mittel auf 463 °C, zeitweilig sogar bis auf 488 °C gesteigert wurde. Dabei ergaben sich keinerlei Schwierigkeiten. Obgleich der Zustand des Dampfes im Überhitzer nicht beobachtet werden konnte, kann man annehmen, daß der Dampf hoch überhitzt war, da die Meßgeräte stets ruhig anzeigten, während über 3600 kg/h verdampft wurden.

Als Maßstab für die Wirtschaftlichkeit wird angegeben, daß die Temperatur der Rauchgase am Fuß des Schornsteines nur rd. 45° betragen hat und die Verluste durch Ausstrahlung gering waren, da man das Kesselgehäuse und die Rauchabzüge mit der Hand bequem anfassen konnte. Auch die Rohrverbindungen und die Regelung der Überhitzung verhielten sich während der Versuche einwandfrei. [M 186]

Elektrotechnik.

65 000 kVA-Drehstromerzeuger der Niagarakraftwerke.

Die erste der drei für das neue Kraftwerk der Niagara-Falls Power Co. im Bau befindlichen stehenden 65 000 kVA-Turbinendynamos wurde vor kurzem in Betrieb gesetzt[3]). Sie wird durch eine 70 000 PS-Francis-Spiralturbine angetrieben, deren Saugrohr mit Kegelsohle (hydrocone) ausgeführt ist; als Absperrorgan dient ein selbsttätiges Kegelventil von 6,3 m Länge und 4,25 m Dmr. Die Drehstrommaschine, Abb. 4, für 12 000 V und 25 Per./s hat bei 107 Uml./min 28 Pole und erreicht bei 80 vH Leistungsfaktor (52 000 kW) einen Vollastwirkungsgrad von 97,5 vH. Die Temperaturerhöhung beträgt 50 bis 60 °C, am ruhenden Anker außen bzw. innen gemessen.

Zum Speisen eines Erreger-Umformersatzes dient ein zwischen die Magnetradspeichen und die Lagertragarme eingebauter 650 kVA-Dreh-

[2]) „Engineering" Bd. 117, 22. Februar 1924.
[3]) „Electrical World" Bd. 83 (1924) S. 124.

Zahlentafel 2. Spezifische Wärme c_p von Ammoniakdampf.

Temperatur °C	Druck in physikalischen Atmosphären (Sättigungstemperatur in Kursivdruck)																				
	0 —	1 *—33,35°*	2 *—18,57°*	3 *—8,91°*	4 *—1,54°*	5 *+4,50°*	6 *9,67°*	7 *14,21°*	8 *18,27°*	9 *21,96°*	10 *25,34°*	11 *28,47°*	12 *31,40°*	13 *34,15°*	14 *36,74°*	15 *39,19°*	16 *41,52°*	17 *43,75°*	18 *45,88°*	19 *47,92°*	20 *49,89°*
Sättigung	—	0,5593	0,5935	0,6214	0,6457	0,6676	0,6877	0,7065	0,7242	0,7411	0,7575	0,7734	0,7890	0,8044	0,8199	0,8355	0,8513	0,8674	0,8839	0,9009	0,9186
—30	0,4829	0,5513	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—20	,4856	,5344	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—10	,4885	,5247	0,5704	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0	0,4917	0,5194	0,5532	0,5931	0,6392	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	,4950	,5168	,5426	,5724	,6062	0,6440	0,6860	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	,4985	,5161	,5364	,5593	,5848	,6130	,6438	0,6775	0,7142	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	,5021	,5167	,5330	,5510	,5708	,5924	,6158	,6410	,6682	0,6974	0,7289	0,7629	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	,5058	,5181	,5315	,5461	.5619	,5788	,5970	,6164	,6371	,6592	,6826	,7077	0,7346	0,7634	0,7946	0,8286	—	—	—	—	—
50	0,5097	0,5201	0,5313	0,5434	0,5562	0,5699	0,5843	0,5997	0,6158	0,6329	0,6510	0,6700	0,6902	0,7117	0,7345	0,7590	0,7854	0,8140	0,8452	0,8795	0.9173
60	,5137	,5227	,5322	,5423	,5529	,5641	,5759	,5883	,6012	,6148	,6290	,6439	,6595	,6759	,6932	,7115	,7310	,7518	,7741	,7982	,8244
70	,5178	,5256	,5338	,5423	,5513	,5607	,5704	,5806	,5912	,6022	,6136	,6255	,6379	,6508	,6643	,6784	,6933	,7090	,7255	,7432	,7621
80	,5220	,5288	,5359	,5432	,5510	,5589	,5671	,5756	,5844	,5935	,6029	,6126	.6227	,6330	,6438	,6550	,6667	,6789	,6916	,7051	,7192
90	,5262	,5323	,5385	,5449	,5515	,5583	,5654	,5726	.5800	,5877	,5955	,6036	,6119	,6204	,6292	,6383	,6477	,6574	,6675	,6781	,6890
100	0,5306	0,5359	0,5414	0,5470	0,5528	0,5587	0.5648	0,5710	0,5774	0,5839	0.5905	0,5974	0,6043	0,6115	0,6188	0,6263	0.6341	0,6420	0,6502	0,6587	0.6674
110	,5350	,5397	,5446	,5496	,5547	,5598	.5651	,5705	,5760	,5817	,5874	.5932	,5992	,6052	,6114	,6178	.6242	,6308	,6376	,6446	,6518
120	,5394	,5437	,5481	,5525	,5570	,5616	,5662	,5710	,5758	,5807	,5856	,5907	,5958	.6011	,6064	,6118	,6173	,6229	,6286	,6345	,6404
130	,5440	,5478	,5517	,5557	,5597	,5637	,5679	,5721	,5763	,5806	,5850	,5894	,5939	,5984	,6030	,6077	,6124	,6172	,6222	,6271	,6322
140	,5486	,5520	.5555	,5591	,5627	,5663	,5700	,5737	,5775	,5813	,5852	,5891	,5930	,5970	,6010	,6051	,6093	,6134	,6177	,6220	.6263
150	0,5532	0,5563	0,5595	0.5627	0,5660	0,5692	0,5725	0,5759	0,5792	0,5826	0,5860	0,5895	0,5930	0,5965	0,6001	0,6037	0,6073	0,6110	0,6147	0,6185	0,6223

stromerzeuger *a* für 2200 V, der auch den Strom für die Gebläsemotoren und Hilfspumpen liefert. Der Erregerstrom wird dem Magnetrad des Haupt- und Hilfsstromerzeugers durch eine Bohrung *b* in der Welle über die Schleifringe *c* zugeführt, die am oberen Ende der Welle befestigt sind.

Das Ankergehäuse besteht aus vier je 19,3 t schweren Segmenten; es hat 9250 mm Außendurchmesser und 3050 mm Höhe. Die Bleche sind durch Keile an Rippen des Gehäuses befestigt und werden durch 120 Bolzen von 65 mm Dmr. zusammengehalten. Beim Zusammenbau an Ort und Stelle wurden sie durch Schraubpressen dicht zusammengefügt; die Länge des Blechkörpers beträgt 2390 mm. Das Ankergehäuse wird von einem 24 t schweren gußeisernen Grundring getragen, der in Beton eingebettet ist. Die je 90 kg schweren Ankerspulen sind 3225 mm lang und 635 mm breit; sie sind mit einer doppelten Glimmerisolation versehen und an beiden Enden durch Tragleisten *d* aus Stahl abgestützt, um die Kurzschlußwirkung unschädlich zu machen. Der obere Gehäuseteil, der das Ringspurlager trägt, besteht aus einer Gußstahlnabe *e* von 3050 mm Dmr. und 1950 mm Höhe, die von zehn je 3,5 t schweren Gußstahlarmen getragen wird.

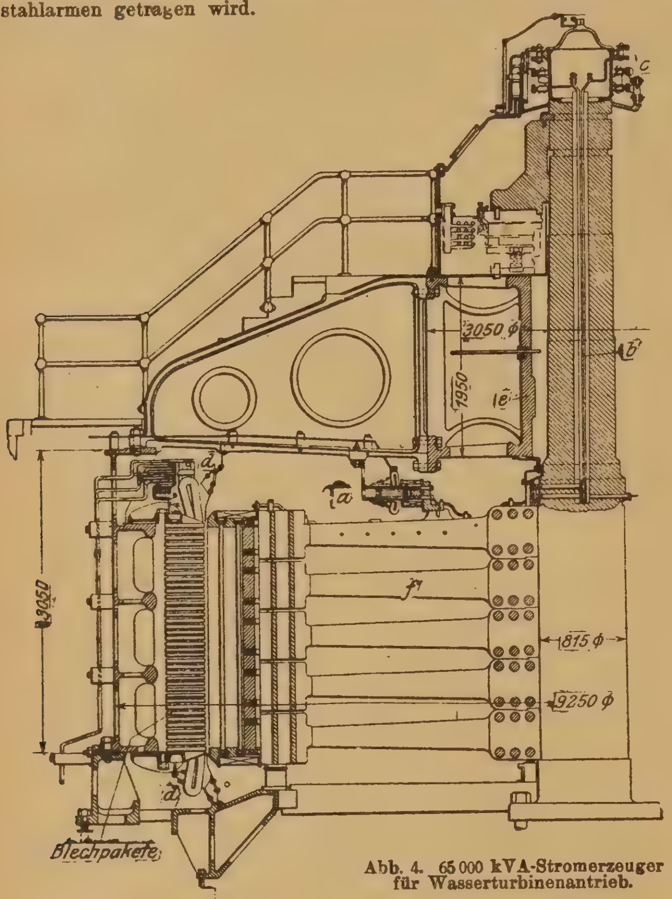


Abb. 4. 65 000 kVA-Stromerzeuger für Wasserturbinenantrieb.

Das 170 t schwere Magnetrad besteht ähnlich wie bei den 45 000 kVA-Stromerzeugern des Queenstonwerkes, die vor zwei Jahren aufgestellt worden sind[1]), aus fünf einzeln übereinander auf die Welle gesetzten zweiteiligen Rädern *f*, deren beide Hälften durch je 12 Nickelstahlbolzen von 85 mm Dmr. zusammengehalten werden. Alle Einzelräder wurden 2 min mit doppelter Normalgeschwindigkeit geprüft. Die Polkörper sind mit je 20 Bolzen am Radkranz befestigt und mit rechteckigen Flachkupferstäben von 10 mm Dicke bewickelt; die Spulen werden mit Rücksicht auf das hohe Gewicht in der Mitte durch Bügel festgehalten.

Zum Anhalten der abgeschalteten Maschine dienen 12 Druckluftbremsen, die am Grundring befestigt sind und mit 8 at Druck das Schwungmoment von $GD^2 = 2\,750\,000$ kgm² in 5 min abbremsen. Die Bremsen sind gleichzeitig als Hebeböcke ausgebildet, die beim Ausbessern der Wicklung das ganze umlaufende Gewicht aufnehmen können; hierzu dient eine von Hand betriebene Öldruckpumpe für rd. 100 at.

Das Gewicht der umlaufenden Teile: Magnetrad, Erregermaschine, Turbinenlaufrad, beträgt nebst dem senkrecht wirkenden Wasserdruck nahezu 250 t. Das von einer besonderen Motorölpumpe gespeiste Ringspurlager ist mit Wasserkühlung (190 l/min Wasserverbrauch) und einem selbstschreibenden Thermometer versehen. Zur Kühlung des Stromerzeugers dient ein Gebläse für rd. 3500 m³/min Luftmenge, das die Luft aus dem Raum ober- und unterhalb der Maschine ansaugt und in das Ringgehäuse fördert. Zur besseren Führung der Kühlluft nach den Wickelköpfen hin sind oben und unten am Anker besonders ausgebildete und aus unverbrennlichem Bakelit-Segeltuch hergestellte Schirme angebracht. [R 175] Rb.

[1]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 23.

Eisenbahnwesen.

Dieselelektrischer Motorwagen auf Laaland[2]).

Der erste dieselelektrische Motorwagen für die dänische Eisenbahn auf Laaland[3]) ist im April 1923 versuchsweise in Betrieb genommen worden. Bei den Probefahrten erreichte der Wagen mit einem Anhänger 60 km/h Geschwindigkeit; der Ölverbrauch wurde mit 240 g/km oder, auf 120 PS-Volleistung umgerechnet, mit 195 g/PSh ermittelt. Die Gleichstromdynamo hat außer der normalen Nebenschlußerregung noch eine Reihenschlußwicklung, mittels deren die Maschine von einer Speicherbatterie gespeist und ohne Anlaufwiderstände zum Anlassen der stillstehenden Dieselmaschine benutzt wird; die Batterie wird während der Fahrt geladen. Die Geschwindigkeit wird ausschließlich durch Änderung der Dynamospannung geregelt. Der 120 PS-Motorwagen soll 3 bis 4 Personenwagen ziehen und gleichzeitig als Post- und Gepäckwagen dienen. Es sollen auch Wagen von kleinerer und größerer Leistung zur Verwendung kommen, die von der Diesel-Elektriska Vagn A.-B. hergestellt werden. [M 87] Rb.

Keramische Industrie.

Die Industrie feuerfester Steine in Nordamerika.

Die Fortschritte der keramischen Wissenschaft in Nordamerika während der letzten 10 Jahre veranlaßten Prof. Endell, eine viermonatige Studienreise zur Erforschung der dortigen Verhältnisse zu unternehmen, über deren Eindrücke er dem Stahlwerksausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute wie folgt berichtet[4]).

Die besonders in der Gegend von St. Louis vorkommenden hochwertigen plastischen Tone werden vor ihrer Verwendung noch einer sorgfältigen Reinigung in Filterpressen unterzogen, elektroosmotische Einrichtungen haben sich nicht eingebürgert. In großem Umfange werden Schiefertone verwendet, die nur einen Tonerdegehalt im gebrannten Zustand von 30 bis 35 vH haben. Sie werden mit etwa 20 vH Bindeton gemischt und ohne Schamotte unmittelbar zu Steinen geformt und gebrannt.

Als Rohstoff für Silikasteine kommt nur Felsquarzit in Frage, der in zwei großen Vorkommen, Medina- und Baraboo-Quarzit, in mehr oder weniger dicken Blöcken aufgelöst, große Flächen bedeckt. In den größten Brüchen bei Mount Union werden täglich etwa 500 t Quarzit gefördert.

Die Gewinnung von Magnesit zur Herstellung von Magnesitsteinen hatte während des Krieges Bedeutung. Es wurden aus einem sehr reinen Magnesit unter Verwendung von Eisenerz und ähnlichen Sinterungsmitteln brauchbare Steine hergestellt, die sich aber teurer stellten als die österreichischen Erzeugnisse, so daß die Magnesitindustrie Ende 1920 wieder zusammenbrach.

Von den künstlich hergestellten Steinen werden die Karborundsteine für einen sehr zukunftsreichen feuerfesten Stoff gehalten, der sich ausgezeichnet bewährt, wo es sich lediglich um hohe Temperaturwirkung handelt. Geschmolzene Tonerde und Sillimanit dienen nur zu Sonderzwecken.

Bei der Herstellung feuerfester Steine spielen sogenannte Feuchtigkeitstrockner eine große Rolle, die nicht mit trockener heißer Luft trocknen, sondern mit ständig bewegter, feuchter warmer Luft. Mit Druckwasser-Drehtischpressen hat man bei der Herstellung von Silikasteinen keine Erfolge erreicht, auch sind bisher Tunnelöfen zum Brennen der Steine nicht eingeführt.

Im Vergleich zu deutschen Verhältnissen fällt als wichtigster Unterschied die allgemein verbreitete Erkenntnis auf, daß die feuerfesten Erzeugnisse eingehend geprüft und durchforscht werden müssen. Mit der Ausarbeitung bestimmter Prüfungen und Normen beschäftigen sich die sehr rührige amerikanische Keramische Gesellschaft, die amerikanische Gesellschaft für Materialprüfung der Technik und die keramische Abteilung des Bureau of Standards.

Mit rein wissenschaftlichen Fragen der Silikatchemie, wie Ausarbeitung verwickelter ternärer Systeme, befaßt sich das geophysikalische Laboratorium der Carnegie Institution in Washington, mit größeren technischen Untersuchungen das Mellon-Institut. Die ausgearbeiteten Prüfverfahren haben sowohl Eingang gefunden bei den großen Fabriken feuerfester Erzeugnisse als auch bei den großen Stahlwerken. Überall werden die feuerfesten Stoffe laufenden Prüfungen unterworfen. Bei den Prüfungen selbst wird der Analyse und der Segerkegelbestimmung nur geringer Wert beigemessen. Im Vordergrund der Prüfverfahren steht die Prüfung mittels einer heizbaren Hebelpresse, wie sie auch in Deutschland seit kurzem durch Dr. Steger eingeführt ist. Allgemein gültige Normen für die Eigenschaften und Prüfungen der Schamottesteine bestehen noch nicht, dagegen sind für Silikasteine bestimmte Vorschriften gültig. Der Umwandlungsgrad der amerikanischen Silikasteine ist im allgemeinen recht gut, die Steine sind mechanisch sehr fest und entsprechen durchaus den höchsten Anforderungen.

Die hochentwickelte amerikanische Industrie feuerfester Erzeugnisse verdankt ihren hohen Stand der äußerst regen Zusammenarbeit zwischen den zahlreichen Forschungsinstituten, den Herstellungsfirmen und Stahlwerken. Die in unermüdlicher Gemeinschaftsarbeit erzielten Erfolge dürften für Deutschland vorbildlich sein. [M 94]

Dortmund. Dr. phil. E. Steinhoff.

[2]) Vergl. Z. Bd. 64 (1920) S. 1040, Bd. 67 (1923) S. 67.
[3]) Nach Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen vom 31. Januar 1924.
[4]) Stahlwerksausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Bericht Nr. 70.

BÜCHERSCHAU.

Diese Bücher und Zeitschriften können durch den VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4 a, Abteilung Sortiment, bezogen werden.

„Hütte", Taschenbuch für Betriebsingenieure. Herausgegeben vom Akademischen Verein „Hütte" E. V. und Dr.-Ing. A. Stauch unter Mitwirkung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure im V. d. I. Berlin 1924, Wilhelm Ernst & Sohn. 1273 S. m. 1431 Textabb. Preis Gm. 19,50.

Die Bedeutung und der Wert des Taschenbuches der „Hütte" hat in den Kreisen der Ingenieure längst volle Würdigung gefunden. Dies beweist wohl am schlagendsten die Tatsache, daß das bekannteste dieser Werke: „Des Ingenieurs Taschenbuch" im Umfang von 3 Bänden nunmehr in 24. Auflage erschienen ist. Während dieses Taschenbuch mehr den Bedürfnissen des konstruktiv tätigen Ingenieurs angepaßt ist, soll das neu herausgegebene Buch ein Ratgeber und Nachschlagewerk vor allem für den Betriebsingenieur sein, das ihm in knapper Form über alle wesentlichen Betriebsfragen und Betriebswissenschaften Aufschluß gibt. Die Reichhaltigkeit des Inhaltes ist rein äußerlich schon an dem Umfang des Taschenbuches zu erkennen, das auf 1273 Textseiten die stattliche Zahl von 1431 Abbildungen aufweist. Das Verzeichnis der Mitarbeiter enthält 54 Namen von bestem Klang, die einzeln aufzuzählen hier nicht der Raum ist. Die Bearbeiter wurden von der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure, dem Normenausschuß der Deutschen Industrie, von hervorragenden Firmen und von Behörden (deutsche Reichsbahn) bei der Zusammenstellung des Taschenbuches in dankenswerter Weise beraten und unterstützt.

Der Inhalt gliedert sich in 27 Abschnitte. Die ersten sechs Abschnitte behandeln gewissermaßen die Hilfswissenschaften des Betriebsingenieurs, nämlich die Stoffkunde und die Materialprüfung, welche über die Werkstoffe und die Prüfung ihrer Eigenschaften belehren; die Festigkeitslehre und die Maschinengetriebelehre, die beim Entwerfen von Vorrichtungen und Werkzeugmaschinen helfen sollen; der Abschnitt Maß und Messen, der Einrichtung und Prüfung der Meßwerkzeuge beschreibt, und ein Abschnitt Vereinheitlichung in der deutschen Industrie, der eine Übersicht über die bisher vom Normenausschuß der Deutschen Industrie geleisteten wertvollen Arbeiten gibt.

Der nun folgende Teil, Abschnitte 7 bis 14, kann vielleicht als allgemeiner Teil bezeichnet werden. Der Abschnitt Fabrikanlagen behandelt die wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkte bei Neuanlagen und der Abschnitt Ausförderung die Gleis- und gleislose Förderung für wagrecht bewegte Lasten. Hier wird man vielleicht einen Abschnitt über das sonstige Transportwesen vermissen, die vermißten Fördereinrichtungen aber mit Hilfe des Sachverzeichnisses im ersten Abschnitt: Stoffkunde bei der Lagerung und Förderung der Kohlen auffinden. Der Abschnitt Unfallverhütung und Gewerbehygiene weist auf die Betriebsgefahren und ihre Bekämpfung hin. Unter Fabrikorganisation wird nicht nur auf die Einteilung, sondern auch auf das Selbstkosten- und Terminwesen eingegangen; der Stückzeitbestimmung ist ein besonderer Abschnitt eingeräumt. Das Kapitel Eignungsprüfung zeigt die Bedeutung der Psychotechnik für die Berufsauswahl; ein Abschnitt ist der Erziehung und Ausbildung des Facharbeiters gewidmet und der Abschnitt Sozialpolitik belehrt über Organisations-, Tarif- und Schlichtungswesen, über Arbeitsordnung und Arbeitsrecht.

Die übrigen Abschnitte (15 bis 27) bilden den eigentlichen technischen Teil des Buches. Das Kapitel Gießerei ist aus „Hütte", Taschenbuch für Eisenhüttenleute, übernommen; je ein Abschnitt enthält die notwendigsten Angaben über Schweißen, Löten, Härten und Vergüten. Die Vorgänge und Einrichtungen beim Walzen, Schmieden und Pressen sind in einem Abschnitt Bearbeitung auf Grund der Dehnbarkeit vereinigt. Die Mittel und Verfahren zum Anreißen (Anzeichnen) von Guß- und Schmiedestücken sind zusammengestellt. Je ein Abschnitt ist den für jeden Betrieb so wichtigen Druckluftwerkzeugen und Elektrowerkzeugen gewidmet. Von besonderer Bedeutung für den Betriebsmann sind die Abschnitte über Schneidwerkzeuge, Vorrichtungen und Werkzeugmaschinen, von denen der letztgenannte allein fast 200 Textseiten umfaßt und, von einer großen Zahl von Spezialisten bearbeitet, das neueste auf dem Gebiet des Werkzeugmaschinenbaues bringt. Die Holzbearbeitungsmaschinen sind in einem besonderen Kapitel dargestellt. Den Schluß bildet ein Abschnitt Auswuchten, der für die Fertigung raschlaufender Maschinen von Interesse ist.

Diese kurze Inhaltsangabe wird genügen, um ein Bild über die Menge des verarbeiteten Stoffes zu geben und das hohe Verdienst erkennen zu lassen, das sich die Herausgeber um die deutsche Industrie und ihre Werkstättenleiter erworben haben. Sie zeigt aber auch im besonderen, wie groß das Maß der Anforderungen ist, die an den heutigen Betriebsingenieur gestellt werden, und auf welch hoher wissenschaftlicher Stufe die neuzeitliche Betriebsführung steht. Es erschiene mir kleinlich, wenn ich bei der gewaltigen Leistung des Ganzen auf nebensächliche Mängel eingehen sollte, für deren Beseitigung wohl ohnedies die Benutzer des Taschenbuches von selbst sorgen werden. Auch Änderungen in der Anordnung des Stoffes oder Ergänzungen mögen an einzelnen Stellen erwünscht erscheinen, in letzterem Punkte ist aber nicht außer Acht zu lassen, daß ein Taschenbuch nur das Allernotwendigste bringen kann, ohne den seinem Zweck zugemessenen Umfang zu überschreiten. Der Umfang ist ohnehin bereits bei Erscheinen des Buches so groß, daß bei etwaiger Erweiterung des Inhaltes für eine Neuauflage eine Unterteilung in Einzelbände erforderlich werden dürfte. Aber selbst jenen Lesern, die sich über den Umfang des Buches hinaus in den einzelnen Gebieten unterrichten wollen, gibt das Werk durch sorgfältig zusammengestellte ausführliche Literaturangaben die erwünschten Anweisungen zur Vertiefung des Studiums. Das Taschenbuch wird aber nicht nur dem Betriebsmann ein geschätztes und verläßliches Beratungs- und Nachschlagewerk sein, auch der Konstrukteur wird sich daraus wertvolle Anregungen holen können, die ein verständnisvolles Zusammenarbeiten mit der Betriebsleitung fördern.

So ist das neue Sammelwerk in jeder Hinsicht ein voller Erfolg, zu dem die Herausgeber zu beglückwünschen sind. Auch der Verlag hat trotz der Ungunst der Zeit seinen redlichen Teil zur würdigen Ausstattung des Buches beigetragen.

[B 224] Dr.-Ing. eh. G. Lippart.

Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. Herausgegeben von dem Generalsekretariat des V. D. E. nach dem Stande am 31. Dezember 1922. 11. Aufl., Berlin 1923, Julius Springer. 559 S. mit Abb.

Der Sammelband enthält sämtliche vom Verbande Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Vorschriften, Leitsätze, Merkblätter, Richtlinien und dergl. sowie die bis Anfang 1923 aufgestellten Normen und ein Verzeichnis der Normblätter. Die außerordentlich große Fülle und Verschiedenheit des Stoffes erschwert eine übersichtliche Anordnung, ein Übelstand, der indessen durch das Inhaltverzeichnis und ein sorgfältig durchgearbeitetes Sachverzeichnis gut ausgeglichen wird. Die Sammlung ist für alle Fachleute, die mit elektrischen Anlagen, Maschinen und Geräten irgendwelcher Art zu tun haben, sei es als Hersteller, als Bezieher oder im Betriebe, von größter Wichtigkeit.

Magnetische Kräfte in der Atmosphäre. Eine Experimentalstudie von Albert Hofmann. Leipzig 1923, Oswald Mutze. 31 S. Preis 1 Gm.

Hinweis auf Versuche mit einer Kompaßnadel in einem geschwächten erdmagnetischen Feld, das durch ein Eisendrahtsolenoid erzeugt wurde. Der Verfasser fand, daß die Kompaßnadel hierbei Ausschläge macht, die nach seiner Ansicht durch meteorische Zustände (wandernde elektrische Felder) hervorgerufen werden.

Bund der Elektrizitätswerke in den angeschl. Gebieten Rumäniens: **Statistik 1922.** Hermannstadt (Jibriu) 1923, Selbstverlag des Bundes.

Die Elektrostahlöfen. Ihr Aufbau und gegenwärtiger Stand sowie Erfahrungen und Betriebsergebnisse der elektrischen Stahlerzeugung. Von E. Fr. Ruß. 471 S. m. 439 Abb. u. 64 Tafeln. Preis Gm. 14, geb. 15,50.

Illustrierte Technische Wörterbücher, Bd. 14, **Faserrohstoffe.** Von Alfred Schlomann. München 1923, Oldenbourg Verlags-A.-G. 500 S. Pr. Gm. 20.

200 Jahre Nadelfabrik Leonhard Schmauser, Schwabach, Bayern.

Einfache und fraktionierte Destillation in Theorie und Praxis. Von Prof. Dr. C. v. Rechenberg. Leipzig 1923, Selbstverlag von Schimmel & Co. 813 S. mit vielen Abb. und Tabellen.

Die Auftragsorganisation insbesondere der Klein- und Mittelbetriebe. Von Dr.-Ing. A. Winkel. Kempten 1923, Josef Kösel und Friedrich Pustet. 38 S. mit 14 Taf.

Flugzeugbaukunde. Eine Einführung in die Flugtechnik. Von Dr.-Ing. H. G. Bader. Berlin 1924, Julius Springer. 121 S. m. 94 Abb. Preis Gm 4,80, geb. 5,4.

Der Irrtum der Goldmarkrechnung und seine Beseitigung. Von A. Wichert, Mannheim. Frankfurt a. M. 1923, Frankfurter Sozietäts-Druckerei G. m. b. H. 41 S.

Wir verweisen auf die Abhandlung: „Die Inflation als Problem der Mechanik" des Verfassers in Bd. 67 Heft 47/48 dieser Zeitschrift.

Sammlung Göschen Bd. 875: **Geschichte der Mathematik.** Neue Bearbeitung v. Dr. H. Wieleitner. II. Von 1700 bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts. Berlin und Leipzig 1923. Walter de Gruyter. 154 S. Preis Gz. 1.

ANGELEGENHEITEN DES VEREINES.

63ste Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover, 1. bis 3. Juni 1924.

Sonnabend, den 31. Mai 1924.

Versammlung des Vorstandsrates

Zeit: Vormittag 8,30 Uhr. Ort: Saal des Münchener Bürgerbräus.

TAGESORDNUNG:

1. Eröffnung. Anwesenheitsliste. Feststellung der Stimmenzahl. Schriftführer. Beglaubiger der Niederschriften.
2. Geschäftsbericht der Direktoren.
3. Wahlen.
   a) Drei Beigeordnete im Vorstand.
   b) Zwei Rechnungsprüfer und zwei Stellvertreter.
   c) Mitglieder und Stellvertreter des Wahlausschusses.
   d) Zwei Mitglieder des Kuratoriums der Ingenieurhilfe.
4. Ehrungen.
   a) Ehrenmitgliedschaft.
   b) Grashof-Denkmünze.
5. Anträge auf Änderung der Satzung und Geschäftsordnung.
   a) Verminderung der Mitgliederzahl des Vorstandsrates; § 31.
   b) Lieferung der Mittwoch-Ausgabe anstatt der Sonnabend-Ausgabe der Zeitschrift; § 16.
   c) Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern; § 23 Abs. 4.
   d) Feststellung des an die B.-V. im Jahre 1924 zu überweisenden Anteils vom Mitgliedbeitrag; Nr. 6 der Geschäftsordnung.
6. Festsetzung des Beitrages für 1924 und 1925 für die in Deutschland wohnenden Mitglieder; Nr. 5 der Geschäftsordnung.
7. Anträge des Lausitzer Bezirksvereines.
   a) Der Mitgliedbeitrag ist derart festzusetzen, daß für jedes Mitglied der Bezug der Sonnabend-Ausgabe der Zeitschrift wieder mit eingeschlossen ist.
   b) Den Bezirksvereinen ist wieder, wie vor dem Kriege, aus den Mitgliedbeiträgen ein Betrag von mindestens 5 ℳ für jedes Mitglied zuzuführen.
   c) Der Gesamtverein soll wieder, wie in früheren Zeiten, Sonderbeiträge, die die B.-V. zu erheben wünschen, mit einziehen.
   d) Die vom Verein deutscher Ingenieure herausgegebenen Zeitschriften sind den Bezirksvereinen wieder kostenlos zuzustellen.
8. Antrag der Ortsgruppe Osnabrück auf Anerkennung als Bezirksverein.
9. Festsetzung der Reisekosten und Tagegelder; Nr. 45 der Geschäftsordnung.
10. Beschlußfassung über den Fortbestand der Ingenieurhilfe.
11. Geschäftliche Angelegenheiten.
    a) Rechnungen der Jahre 1922 und 1923. Bericht der Rechnungsprüfer.
    b) Bericht des Kuratoriums der Ingenieurhilfe über die Jahre 1922 und 1923.
    c) Ort der nächsten Hauptversammlung.
    d) Haushaltplan für 1924.

Falls erforderlich, findet die Fortsetzung der Versammlung am 1. Juni 1924, Vormittag 8 Uhr statt.

Die Verhandlungen über etwaige von der Hauptversammlung an den Vorstandsrat zur endgültigen Beschlußfassung zurückverwiesene Beschlüsse (Satzung §§ 32 und 44) finden gegebenenfalls am Montag, den 2. Juni 1924, nachmittags 1 Uhr statt.

Sonntag, den 1. Juni 1924.

Hauptversammlung.

Geschäftliche Verhandlungen (nur für Vereinsmitglieder).

Zeit: Vormittag 9 Uhr. Ort: Stadttheater in Hannover.

1. Geschäftsbericht der Direktoren.
2. Bericht der Rechnungsprüfer. Genehmigung der Rechnungen der Jahre 1922 und 1923 und Entlastung des Vorstandes.
3. Wahl zweier Rechnungsprüfer und ihrer Stellvertreter für die Rechnung des Jahres 1924.
4. Änderung der Satzung.
   a) Verminderung der Mitgliederzahl des Vorstandsrates; § 31.
   b) Lieferung der Mittwoch-Ausgabe anstatt der Sonnabend-Ausgabe der Zeitschrift; § 16.
   c) Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern; § 23 Abs. 4.
5. Entgegennahme und Besprechung des Berichtes über die Verhandlungen, Wahlen und Beschlüsse des Vorstandsrates.
6. Bestätigung der mit schriftlicher Abstimmung im Vorstandsrat gefaßten Beschlüsse vom Januar 1924.

Wissenschaftliche Verhandlungen.

Zeit: Vormittag 10,15 Uhr. Ort: Stadttheater in Hannover.

1. Eröffnungsansprache des Vorsitzenden.
2. Begrüßungen.
3. Ehrungen.
4. Vorträge.

Es werden folgende Themen behandelt werden:

Probleme des Luftverkehrs — Flugzeugbau — Flugmotoren — Aus der Entwicklungsgeschichte des Luftschiffbaues — Die Nichteisenmetalle unter besonderer Berücksichtigung der Luftfahrzeuge — Segelflug.

Außerdem finden **vier wissenschaftliche Fachtagungen** in der **Technischen Hochschule** statt, und zwar **am Sonnabend, den 31. Mai, nachmittag 2,30 Uhr:**

Vorträge der Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure.

Am Montag, den 2. Juni, vormittag 8,30 Uhr finden nebeneinander die folgenden **drei Fachtagungen** statt:

a) Wissenschaftliche Probleme der Luftfahrt in Verbindung mit andern Gebieten der Technik,
b) Vorträge des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen und
c) Vorträge aus dem Gebiete des Dieselmaschinenbaues.

Technische Besichtigungen
am Dienstag, den 3. Juni.

Das ausführliche Programm wird demnächst hier und in den VDI-Nachrichten veröffentlicht werden.

[M 223]

Der Vorsitzende des Vereines deutscher Ingenieure.
Dr. G. Klingenberg.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 14 SONNABEND, 5. APRIL 1924 BD. 68

Schweden.

INHALT

Schwedens Wasserkräfte und deren Ausnutzung.

Von Dr.-Ing. eh. F. Vilh. Hansen, Generaldirektor der Königl. Schwedischen Wasserfalldirektion, Stockholm.

Die Wasserkräfte Schwedens werden auf rd. 10 Mill. PS bei 6 Monate vorhandener Wasserführung und auf 6¾ Mill. PS (9 Monate) geschätzt. Auf Grund einer Schätzung von 1917 ergeben alle schwedischen Flußläufe nach Regulierung 42,6 Milliarden kWh, von denen 32,5 Milliarden kWh als praktisch ausnützbar gelten. Die bis 1921 ausgebauten Kraftwerke leisten zusammen rd. 1,21 Mill. kW (= 18 vH der ausnutzbaren Wasserkräfte); davon entfallen 925 000 kW auf Wasserkraftwerke und 756 000 kW auf Elektrizitätswerke. Der Energiebedarf im Jahre 1940 wird auf etwa 8½ Milliarden kWh berechnet, wovon etwa 2½ Milliarden kWh auf elektrothermische und elektrochemische Industrien entfallen. Die Lage der wasserkraftreichen und die der Bedarfgebiete erfordert Kraftübertragung von Norden nach Süden. Augenblicklich werden rd. 2½ Milliarden kWh an elektrischer Energie verbraucht, größtenteils durch die Industrie, und zwar Holzschleiferei, Papierindustrie und elektrothermische Industrie. Von der ausgebauten Leistung schwedischer Kraftwerke entfallen rd. 25 vH auf staatliche Kraftwerke. — Organisation der Königl. Wasserfalldirektion. — Gesetzgeberische Maßnahmen zur Förderung der Wasserkraft-Ausnützung. — Technische Ausführung einiger kennzeichnender Wasserkraftwerke.

Schweden gehört in bezug auf Reichtum an Wasserkräften zu den von der Natur am meisten begünstigten Ländern, dagegen besitzt es fast keine Steinkohle und keine flüssigen Brennstoffe, und die reichen Waldbestände können gewöhnlich bessere Verwendung finden als zur Krafterzeugung. Die Wasserkräfte und deren rationelle Ausnutzung sind deshalb für uns von der allergrößten Bedeutung und werden darum auch seit Jahrhunderten in Anlagen ausgenützt, die zum Betriebe größerer oder kleinerer, an den Wasserkräften belegener Industrien dienen. Aber erst mit der elektrischen Kraftübertragung und deren schnellen Entwicklung erhielten die Wasserkräfte ihr eigentliches und großartiges Verwendungsgebiet.



Porjus-Wasserfall.

Umfang der schwedischen Wasserkräfte.

Der Gesamtbetrag der schwedischen Wasserkräfte ist noch nicht genau bestimmt. Endgültige Zahlen stehen erst zur Verfügung, wenn die Aufnahme, an der z. Zt. gearbeitet wird, beendet sein wird. Ihr Ergebnis wird in dem sogenannten Wasserfallverzeichnis von der Kgl. Wasserfalldirektion und der staatlichen meteorologischen und hydrographischen Anstalt veröffentlicht werden. Die gesamten Wasserkräfte von nicht regulierten Flußläufen, die sechs Monate des Jahres zur Verfügung stehen, werden auf ungefähr 10 Mill. und die 9 Monate lang vorhandenen auf etwa 6½ bis 6¾ Mill. PS geschätzt.

Zum Vergleich mit dem Wasserkraftreichtum andrer Länder diene Zahlentafel 1, S. 323, die auf Grund zugänglicher Unterlagen zusammengestellt ist.

Schweden nimmt in dieser Zahlentafel die zweite Stelle ein, und zwar sowohl hinsichtlich der gesamten verfügbaren als auch in bezug auf die im Verhältnis zur Einwohnerzahl vorhandene Leistung. Besonders günstig ist der große Reichtum an Seen, der an und für sich schon einen ausgleichenden Einfluß auf die Abflußmenge ausübt, und der durch geeignete Regulierungsmaßnahmen die Ungleichmäßigkeit im Abfluß noch weiterhin auszugleichen vermag. Leider liegt aber der weitaus größte Teil der Wasserkräfte in den dünn bevölkerten nördlichen Landesteilen, während der Bedarf im mittleren und südlichen Schweden am größten ist, Abb. 1. Ferner sind die Wasserkräfte nicht in hohen Fällen vereinigt, sondern verteilen sich in kleinen Fällen und Stromschnellen auf lange Strecken. Glücklicherweise strebt indessen die Elektrotechnik im Sturmschritt immer höheren Spannungen zu, was natürlich den Wert der mehr abgelegenen Wasserkräfte erhöht, und einmal wird ja auch der ersehnte elektrische Akkumulator erfunden werden, dessen Bedeutung hier nicht weiter hervorgehoben zu werden braucht. Zu bemerken ist indessen, daß nach schwedischen Erfahrungen die Baukosten je Pferdestärke für Kraftwerke mit kleinerem Gefälle, solange es nur mehr als 15 m beträgt, nicht um so viel mehr betragen als bei Anlagen mit hohem Gefälle, wie man vielleicht annehmen könnte. Durch rationelles Zusammenfassen von einzelnen Gefällstufen können übrigens niedrige Wasserfälle, Stromschnellen und Gefälle oft in vorteilhafter Weise zu einem größeren Gefälle vereinigt werden, wodurch gleichzeitig noch besserer Schutz gegen Grundeisbildung erreicht wird.

Der von der schwedischen Regierung im Jahre 1917 eingesetzte Elektrifizierungsausschuß hat kürzlich eine neue Schätzung der schwedischen Wasserkräfte und des Kraft-

bedarfs vorgenommen, die deshalb von großem Wert ist, weil sie die zur Verfügung stehenden Energiemengen nicht nach Pferdestärken sondern nach Kilowattstunden berechnet und sich deshalb besser den verschiedenen Ausnutzungszeiten usw. anpaßt. Der Ausschuß teilte das Land in bezug auf Angebot und Nachfrage von Kraft in drei Kraftprovinzen ein (Abb. 1), nämlich

A. Süd- und Mittelschweden, wo die zur Verfügung stehende Kraft für den Bedarf nach und nach unzureichend wird, und wohin deshalb Kraft überführt werden muß.

B. Das untere Norrland, wo noch auf lange hinaus mit einem Kraftüberschuß gerechnet werden kann, und von wo eine Kraftüberführung nach Süd- und Mittelschweden innerhalb absehbarer Zeit technisch möglich zu werden scheint.

C. Das obere Norrland, wo allerdings mit bedeutendem Kraftüberschuß gerechnet werden kann, dessen Überführung nach den südlichen Landesteilen aber noch für absehbare Zeit technisch-wirtschaftlich unmöglich ist.



Abb. 1. Die in den drei Kraftprovinzen Schwedens vorhandenen Wasserkräfte.

Es bedeutet der Flächeninhalt

der äusseren Kreise die Summe der praktisch ausnutzbaren Wasserkräfte nach durchgeführter Regulierung, zusammen in den drei Provinzen 9,3 Mill. PS,

der mittleren Kreise die gesamte ausnutzbare Leistung vor Regulierung = 6,25 Mill. PS,

der inneren Kreise die gesamte ausbauwürdige Leistung vor Regulierung = 3,75 Mill. PS,

der schwarzen Sektoren die im Jahre 1921 ausgenützten Wasserkräfte = 1,25 Mill. PS.

Die zur Verfügung stehenden Energiemengen wurden unter der Annahme berechnet, daß die Flußläufe zweckmäßig ausgebaut und reguliert und daß die einzelnen Kraftwerke rationell zusammenarbeiten werden. Die Angaben in Zahlentafel 2 beziehen sich auf das nach der Regulierung während des ganzen Jahres

Versorgungsgebiete (schraffierte Flächen).

1. Porjus-Kraftwerk (staatlich).
2. Finnforsen (Stadt Skelleftea).
3. Kramfors A.-G., Skönviks A.-G. und mehrere Industrieanlagen.
4. St. Kopparbergs Bergslags A.-G.
5. A.-G. Bergslagens gemeinsame Kraftverwaltung.
6. Uddeholms A.-G.
7. Älvkarleby-Kraftwerk (staatlich).
8. Motala-Kraftwerk (staatlich).
9. Motala Ströms Kraft-A.-G.
10. Kraft-A.-G. Gullspang-Munkfors.
11. Trollhätte-Kraftwerk (staatlich).
12. Yngeredsfors Kraft-A.-G.
13. Südschwedische Kraft-A.-G.



Abb. 2. Karte der wichtigsten Kraftwerke und Kraftleitungen sowie deren Versorgungsgebiete.

Kraftwerke und -Leitungen.

I. Porjus (staatlich).
II. Edsele (Kramfors A.-G.).
III. Stadsforsen (staatlich).
IV. Arbra (Arbro Kraft-A.-G.).
V. Bergvik (Bergvik-Ala neue A.-G.).
VI. Stora Kopparbergs Bergslags A.-G.
VII. Untra (Stadt Stockholm).
VIII. Älvkarleby (staatlich).
IX. Uddeholms A.-G.
X. A.-G. Bergslagens gemeinsame Kraftverwaltung.
XI. Kraft-A.-G. Gullspang-Munkfors.
XII. Trollhätte (staatlich).
XIII. Motala (staatlich).
XIV. Motala Ströms Kraft-A.-G.
XV. Knutsbro Kraftstation A.-G.
XVI. Yngeredsfors Kraft-A.-G.
XVII. Südschwedische Kraft-A.-G.

Zahlentafel 1. Wasserkräfte europäischer Länder.

	Während 9 Monate im Jahr vorhandene Wasserkräfte	
	PS	PS auf je 1000 Einwohner
Norwegen	7 500 000[1])	3 020
Schweden	6 750 000	1 170
Frankreich	5 857 000	147
Italien	5 500 000	152
Schweiz	1 500 000	386
Deutsches Reich	1 425 000[2])	21
Finnland	1 315 000	400
Großbritannien und Irland	963 000	21

vorhandene Arbeitsvermögen, und in den Fällen, wo dieses kleiner ist als das natürliche während 9 Monate vorhandene Arbeitsvermögen, auf das letztere.

Zahlentafel 2. Arbeitsvermögen der schwedischen Wasserkräfte.

	Verfügbares Arbeitsvermögen		
	Wasserkräfte in Staatsbesitz	Wasserkräfte in Privatbesitz	Zusammen
Kraftprovinz A . . Mill. kWh/Jahr	2 045	7 520	9 565
„ B . . „ „ „	2 135	11 125	13 260
„ C . . „ „ „	8 385	11 415	19 800
Ganz Schweden . . Mill. kWh/Jahr	12 565	30 060	42 625

Zum Vergleich sei erwähnt, daß die verfügbare Energie rd. 100 Milliarden kWh betragen würde, wenn die gesamte Wassermenge und das ganze Gefälle der Flußläufe ausgenutzt werden könnte.

Die in Zahlentafel 2 verzeichneten 42,6 Milliarden kWh müssen indessen noch beträchtlich herabgesetzt werden, um ein praktisch verwertbares Ergebnis zu erhalten. Sie entsprechen dem besten Wasserhaushalt, der bei normaler Wasserführung theoretisch überhaupt möglich ist, und gelten nur unter der Voraussetzung, daß ein vollständiger Wochen- und Tagesausgleich durchgeführt wird, so daß das aus dem Stauraum entnommene Wasser immer der jeweiligen Belastung entspricht, was sich aber natürlich nicht durchführen läßt. Anderseits können aber auch die während der Hochwasserzeit vorhandenen Energiemengen durch Zusammenarbeiten mit Wärme- oder andern Kraftquellen teilweise ausgenutzt werden. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse erhält man folgendes berichtigte Arbeitsvermögen:

Kraftprovinz	A	7 600 Mill. kWh
„	B	9 900 „ „
„	C	15 000 „ „
Zusammen		32 500 Mill. kWh

In Zahlentafel 2 ist zwischen Wasserkräften im Besitz des Staates und im Privatbesitz unterschieden worden. In Schweden ist nämlich der Grundbesitzer auch Eigentümer des Wassers auf seinem Grundstück, gleichgültig ob es sich um staatlichen, kommunalen oder Privatbesitz handelt. Der Staat hat keinerlei Vorrechte in bezug auf Ausnutzung von Wasserkräften, sondern muß wie ein Privatmann die Genehmigung der zuständigen Behörden für jeden Wasserbau nachsuchen. Diese Verhältnisse haben zweifellos der schwedischen Wasserkraftpolitik ihren Stempel aufgedrückt.

[1]) Nach neueren Angaben rd. 12 000 000 PS.
[2]) Bei mittlerem Niedrigwasser.

Zahlentafel 4. Mutmaßlicher Kraftbedarf etwa um das Jahr 1940.

Kraftprovinz	Gehöfte Mill. kWh	Städte einschl. der darin vorhandenen Industrie Mill. kWh	Großindustrie auf dem Lande: ausschl. elektrothermischer und elektrochemischer Industrie Mill. kWh	Großindustrie auf dem Lande: Elektrothermische und elektrochemische Industrie Mill. kWh	Eisenbahnen Mill. kWh	Kochen und Heizen Mill. kWh	Gesamter Kraftverbrauch: ausschl. elektrothermischer und elektrochemischer Industrie Mill. kWh	Gesamter Kraftverbrauch: einschl. elektrothermischer und elektrochemischer Industrie Mill. kWh
A) Süd- und Mittelschweden	465	945	2150	1100	730	435	4725	5825
B) Unteres Norrland	50	30	700	1085	65	40	885	1970
C) Oberes Norrland	30	60	195	315	80	25	390	705
Ganz Schweden	545	1035	3045	2500	875	500	6000	8500

Vorhandene Ausnutzung der Wasserkräfte und mutmaßlicher Kraftbedarf.

Nachdem man sich eine Vorstellung vom Umfange der vorhandenen Wasserkräfte gemacht hat, ergibt sich von selbst die Frage: Wieviel davon ist ausgenutzt, und wie groß ist der Kraftbedarf des Landes in der Zukunft?

Die Gesamtleistung aller in Schweden Ende 1920 aufgestellten Kraftmaschinen ist vom Elektrifizierungsausschuß nach Zahlentafel 3 ermittelt.

Zahlentafel 3. Leistung der in den Kraftwerken aufgestellten Kraftmaschinen.

Kraftprovinz	Wasserkraft: Unmittelbar ausgenutzte Wasserkraft kW	Wasserkraft: Elektrizitätswerke kW	Wärmekraft: Unmittelbar verwendete Dampfkraft kW	Wärmekraft: Elektrizitätswerke kW	Zusammen kW
A. Süd- und Mittelschweden	144 000	580 000	68 000	151 000	943 000
B. Unt. Norrland	26 000	87 000	16 000	13 000	142 000
C. Ober. „	9 000	89 000	19 000	8 000	125 000
Ganz Schweden	179 000	756 000	103 000	172 000	1 210 000

Diese Zusammenstellung zeigt zugleich, wieviel Energie unmittelbar verbraucht und wieviel vorher in elektrische Energie umgewandelt wird, und ferner wieviel davon mit Wasserkraft und wieviel mit Wärmekraft erzeugt wird. Bei einer mittleren Ausnutzungszeit von 4800 h/Jahr entspricht die Gesamtleistung rd. 5,8 Milliarden kWh, also nur etwa 18 vH der praktisch verfügbaren Wasserkraft.

Um sich ein Bild von dem künftigen Kraftbedarf zu machen, hat der Elektrifizierungsausschuß versucht, eine Voraussage für die nächsten 20 Jahre zu machen, die in Zahlentafel 4 wiedergegeben ist.

Elektrizitätswirtschaft.

Die zur Verfügung stehende Kraft reicht also bis Ende dieser Periode und noch lange darüber hinaus aus, besonders da für gewisse Industrien, die für ihre Produktion Wärme brauchen, Wärmekraft vorteilhafter ist. Zweifellos muß aber in späterer Zeit Energie vom unteren Norrland nach Süd- und Mittelschweden übertragen werden, weshalb auch bereits die notwendigen Stammleitungen geplant sind. Diese Stammleitungen sowie das vorhandene Verteilnetz für elektrische Energie sind in die Karte, Abb. 2, eingetragen, die auch die wichtigeren Kraftwerke und die großen Versorgungsbezirke zeigt. Von den in Abb. 2 eingezeichneten wichtigsten Anlagen sind in Zahlentafel 5 die Übertragungsspannungen und die Frequenzen angegeben.

Abb. 3. Verteilung des gesamten elektrischen Energieverbrauches auf die verschiedenen Verbrauchszweige.

In den schwedischen Anlagen zur Erzeugung und Verteilung von elektrischer Energie dürfte zurzeit ausschließlich der Installationen der Verbraucher und der städtischen Kabelleitungen ein Kapital von etwa 790 Mill. Kr. angelegt sein. Vergleicht man diese Summe mit der in den Eisenbahnen des Landes angelegten von rd. 1600 Mill. Kr., so sieht man deutlich, welchen bedeutenden Umfang die Elektrizitätsindustrie nunmehr erreicht hat. Die gesamte Erzeugung elektrischer Energie beträgt z. Zt. 2,5 Milliarden kWh/Jahr. Der Verwendungszweck des Stromes ergibt sich ungefähr aus Zahlentafel 6, s. a. Abb. 3.

Zahlentafel 5.
Spannungen und Frequenzen der wichtigsten Elektrizitätswerke.

Bezeichnung	Spannung der Hauptleitung kV	Frequenz Per./s
Private Unternehmungen.		
Südschwedische Kraft-A.-G.	120 / 50 / 40	50
Yngeredsfors Kraft-A.-G.	40	50
Kraft-A.-G. Gullspång-Munkfors	40	50
Motala-Ströms Kraft-A.-G.	20	50
A.-G. Knutsbro Kraftstation	40	50
Stora Kopparbergs Bergslags A.-G.	50	50 / 60
Uddeholms A.-G.	50	25
A.-G. Bergslagens gemeinsame Kraftverwaltung	30	50
Elektrizitätswerk Stockholm	100	25
Bergvik-Ala neue A.-G.	30	50
A.-G. Arbrå Kraftwerk	40	50
Kramfors A.-G.	60	50
Staatliche Anlagen.		
Trollhätte-Kraftwerk	50	25 / 50
Älvkarleby-Kraftwerk	70	50
Motala-Kraftwerk	70	50
Porjus-Kraftwerk	80 / 70	15 / 25
Westliche Stammlinie	130	50


Abb. 4. Staudamm bei Surova am Lule Älv.

Zahlentafel 6.

Holzwaren-, Holzstoff- und Papierindustrie	rd.	35 vH
Eisenindustrie und Bergbau	„	10 „
Maschinenfabriken, Textilindustrie und andre kleine Industrien	„	10 „
Eisenbahn- und Straßenbahnbetrieb	„	5 „
Haushaltungsbedarf in Städten	„	5 „
Haushaltungs- und landwirtschaftlicher Bedarf auf dem Lande	„	5 „
Elektrothermische und elektrochemische Industrie sowie Dampferzeugung	„	30 „

Dazu möge bemerkt werden, daß bis heute noch keine nennenswerten elektrischen Eisenbahnbetriebe vorhanden sind. Elektrifiziert ist bis heute erst eine Strecke der Staatsbahn, nämlich die Erzbahn Luleå-Reichsgrenze[1]) (mit Fortsetzung in Norwegen bis Narwik; die norwegische Strecke erhält ihren Strom ebenfalls von dem staatlichen Kraftwerk in Porjus). Von privaten Eisenbahnen werden im ganzen 250 km schmalspurige Linien elektrisch betrieben. In der nächsten Zeit soll indessen die Staatsbahn Stockholm-Gothenburg von 458 km Länge elektrifiziert werden. Den Strom soll hauptsächlich das im Bau befindliche Kraftwerk Lilla Edet am Göta Älv liefern, das rd. 20 km unterhalb Trollhättan liegt.

Die Kraftwerke sind teils in staatlichem, teils in kommunalem und teils in privatem Besitz. Die ersten Anlagen für Energieverteilung waren private Unternehmen, aber im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts trat auch der Staat als Unternehmer auf und liefert heute in ehrlichem Wettbewerb oder in Zusammenarbeit mit andern Unternehmen über weite Landesteile hin elektrische Energie an alle Arten von Abnehmern in Städten, Landgemeinden und Gehöften.

Von der gesamten, in schwedischen Kraftwerken eingebauten Leistung von rd. 1 210 000 kW kommen 280 000 kW oder etwa 25 vH auf staatliche Anlagen. Das staatliche Leitungsnetz und die unmittelbar von ihm gespeisten Leitungen umfassen etwa 15 500 km und machen etwa 37 vH der elektrischen Leitungen des Landes aus, woraus sich die Bedeutung des Staates als Lieferer hydroelektrischer Energie ergibt. Als Organ für diese Tätigkeit hat der Staat im Jahre 1909 die sogen. Kgl. Wasserfalldirektion errichtet, die außerdem noch die dem Staat gehörigen Kanäle verwaltet und ganz allgemein für die Ausnutzung der Wasserkräfte des Landes zu sorgen hat. In Verfolgung dieser Aufgabe befaßt sich die Wasserfalldirektion z. Zt. mit großen Seeregulierungsproblemen, von denen dasjenige, das den großen Wänersee betrifft, das bedeutendste ist. Mit einer Fläche von nicht weniger als 5600 km² wird der Wänersee mit Hilfe der bestehenden Stammleitung Västerås-Trollhättan und der geplanten Stammleitungen Norrland-Västerås und Trollhättan-Südschweden (Abb. 2) als ein außerordentlich wirksames Ausgleichbecken für den allgemeinen Krafthaushalt dienen. Eine andre bedeutende Seeregulierung hat die Wasserfalldirektion am Lule Älv ausgeführt, wo durch den Bau eines großen Dammes (Abb. 4), rd. 100 km oberhalb Porjus ein bedeutender Stauraum geschaffen worden ist.

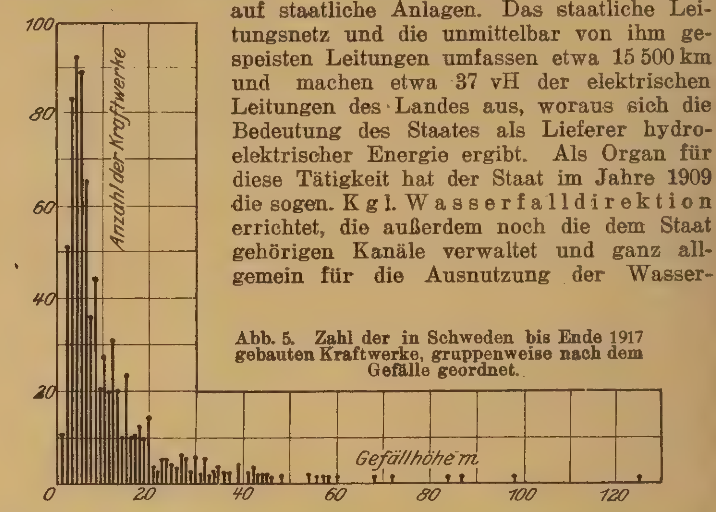


Abb. 5. Zahl der in Schweden bis Ende 1917 gebauten Kraftwerke, gruppenweise nach dem Gefälle geordnet.

Die Wasserfalldirektion ist außerdem mit ihren Wasserfällen Mitglied in mehreren privaten Vereinen, die die Regulierung von Seen und Flüssen, wie des Siljansees und des Indalsälven, anstreben.

Der Staat hat auch noch auf andre Weise für die zunehmende Verwertung von Wasserkraft gesorgt. So wurde z. B. 1918 ein neues Wasserrechtgesetz mit Ergänzungen von 1919

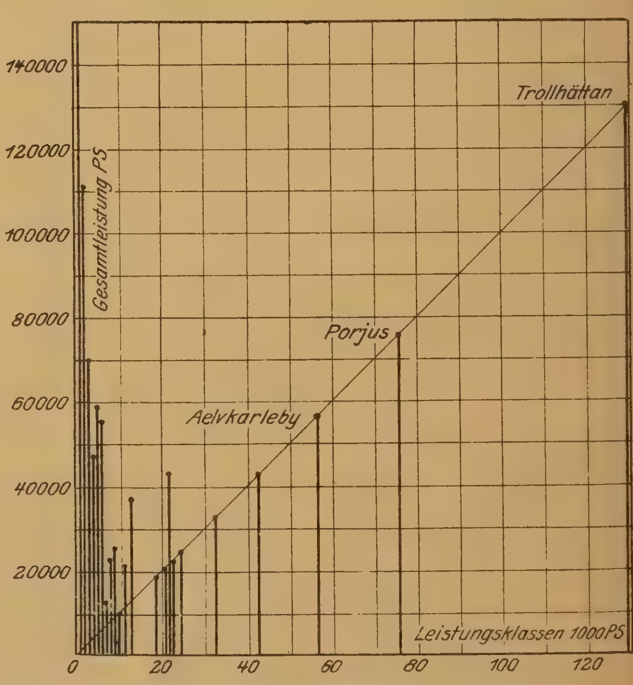


Abb. 6. Die in Schweden bis Ende 1917 gebauten Kraftwerke, gruppenweise nach ihrer Leistung geordnet.

[1]) s. Z. Bd. 65 (1920) S. 181 u. 205, Bd. 68 (1924) S. 72.

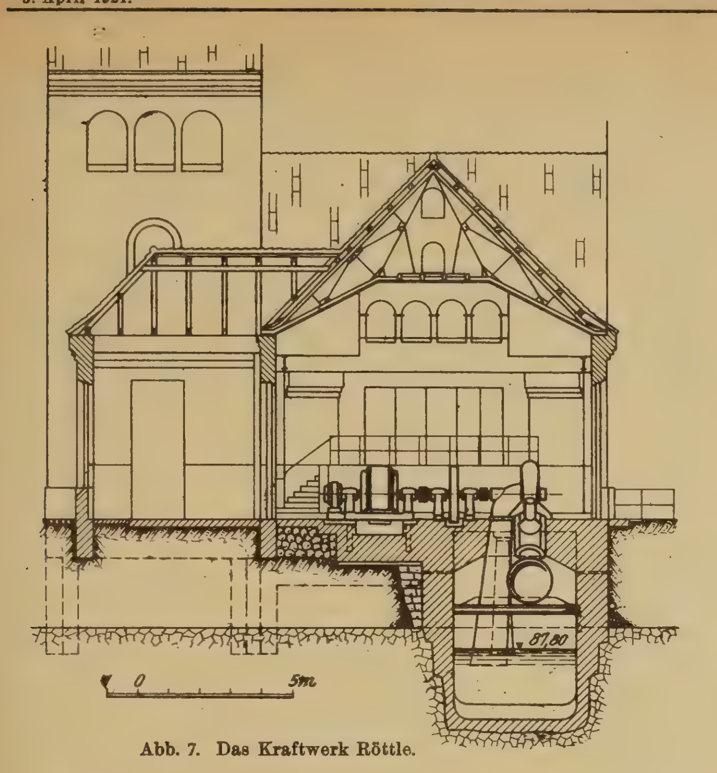


Abb. 7. Das Kraftwerk Röttle.

und 1920 eingeführt, durch das Kraftwerkunternehmungen gewisse Erleichterungen erfahren. Von besonderem Interesse dürfte sein, daß durch dieses Gesetz fünf Gerichtshöfe für Wasserrechtsfragen geschaffen worden sind, die sich ausschließlich mit Wasserrechtprozessen befassen. Weiter hat der Staat durch Erlaß geeigneter Bestimmungen versucht, solche Wasserfälle, die in absehbarer Zeit nicht von ihm selbst in Anspruch genommen werden sollen, für längere Zeitabschnitte zu verpachten, und hat deshalb noch ein neues Gesetz über Wasserfälle geschaffen, durch das die hypothekarische Beleihung eines privaten Kraftwerkes, das auf staatlichem Grund und Boden steht, ermöglicht wurde, was früher nicht möglich war. Durch das Gesetz: „Über gewisse Bestimmungen betr. Schutz des Rechtes an elektrischer Kraft“ wurde verordnet, daß elektrische Leitungen als zum Kraftwerk gehörig angesehen werden können, wodurch die bedeutenden darin angelegten Summen als Sicherheit für Anleihen verwendet werden können, und schließlich sei erwähnt, daß der Staat zwei Anleihefonds, den einen für Wasserkraftanlagen, den andern für Kraftleitungen, bereitgestellt hat.

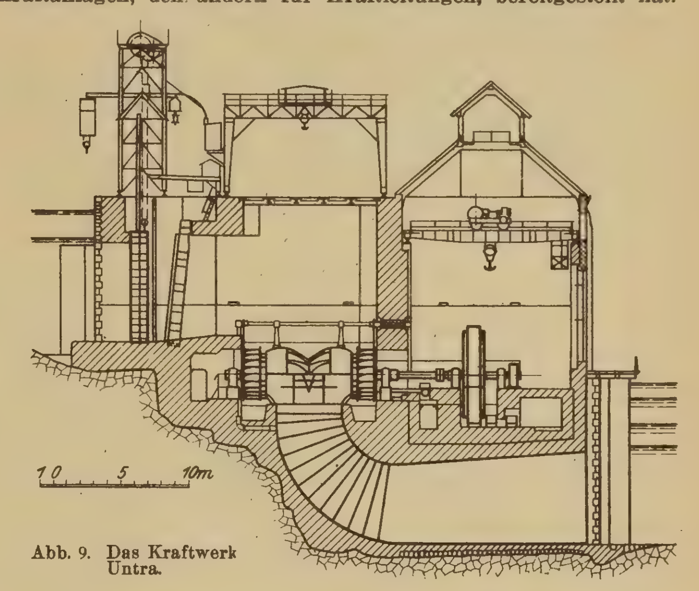


Abb. 9. Das Kraftwerk Untra.

Technische Einzelheiten einiger Wasserkraft-Elektrizitätswerke.

Nach diesen allgemeinen Mitteilungen über Schwedens Wasserkräfte, deren Ausnutzung und andrer einschlägiger Fragen dürfte es angezeigt sein, einiges über die technische Seite der Wasserkraftausnutzung zu sagen.

Wie aus Abb. 5 hervorgeht, in der die Zahl der bis 1917 fertiggestellten Anlagen gleichen Gefälles aneinandergereiht sind, haben, wie bereits gesagt, die schwedischen Wasserkräfte gewöhnlich kein hohes Gefälle. Solche von 100 m sind äußerst selten und Gefälle von 60 bis 30 m sind nicht stark vertreten. Die meisten liegen unter 20 und viele bei etwa 10 m. Abb. 6 zeigt die einzelnen Größenklassen der bis zum Jahre 1917 ausgebauten Wasserkraftanlagen.

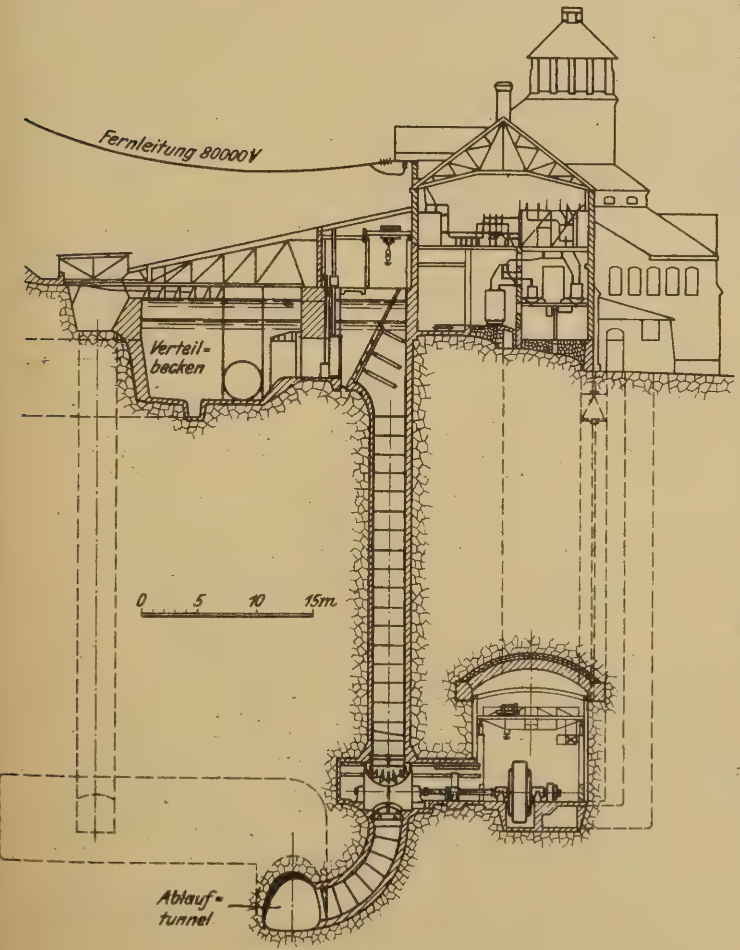


Abb. 8. Das Kraftwerk Porjus.

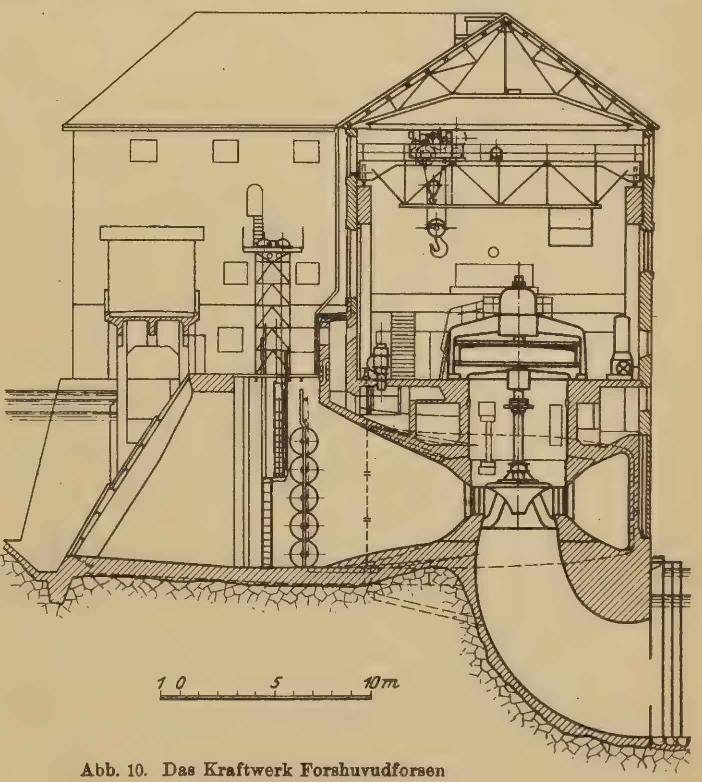


Abb. 10. Das Kraftwerk Forshuvudforsen

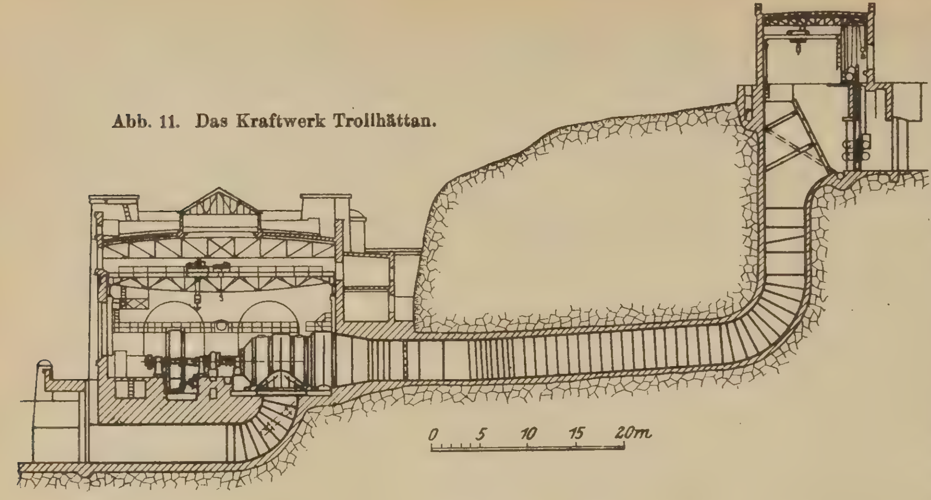


Abb. 11. Das Kraftwerk Trollhättan.

Im folgenden seien kurze Mitteilungen über einige typische Kraftwerke mit verschiedenem Gefäll und daraus sich ergebender verschiedenartiger Maschinenaufstellung gemacht.

1. Das Kraftwerk Röttle, Abb. 7, ist eine kennzeichnende Hochdruckanlage mit rd. 108 m Gefälle, das zwischen einer Seengruppe auf dem Hochland von Småland und dem Wätternsee zusammengefaßt ist. Das Wasser wird der Seengruppe durch einen 1,5 km langen Tunnel mit 4,5 m² Querschnitt entnommen und einem Wasserschloß zugeführt, von dem aus es durch eine eiserne Rohrleitung von oben 1,6 m, unten 1,4 m Dmr. dem am Ufer des Wätternsees belegenen Kraftwerk zugeführt wird. Das Maschinenhaus ist z. Zt. mit zwei 1800 PS-Spiralturbinen ausgerüstet, die 750 Uml./min machen und unmittelbar mit den Stromerzeugern gekuppelt sind. Das Kraftwerk gehört einer Gesellschaft an der die Städte Jönköping und Huskvarna beteiligt sind. Die erzeugte Energie dient hauptsächlich zur Deckung des Strombedarfes dieser beiden Städte


Abb. 12. Ansicht des Kraftwerkes Trollhättan.

2. Das Kraftwerk Porjus, Abb. 8, liegt am Luleälv, nördlich des Polarkreises[1]). Es wurde in den Jahren 1910 bis 1914 vom schwedischen Staat gebaut, hauptsächlich um den Kraftbedarf der im nördlichsten Teil des Landes befindlichen großen Bergwerke und der Erztransportbahn zu decken, die quer durch das Land, von Luleå am bottnischen Meerbusen bis nach Narvik in Norwegen am Atlantischen Ozean geht. Das Gefälle beträgt rd. 55 m und wird gewonnen durch einen in die Stromschnellen eingebauten Damm von 8 m Höhe, Abb. 4, und den sich daran anschließenden und auf 2 km Länge erstreckenden Porjusfall. Durch den Damm wird ein 10 km langer Stausee gebildet, worin die Wassergeschwindigkeit so gering ist, daß das Kraftwerk trotz der nördlichen Lage unter keinerlei Betriebstörung durch Eis zu leiden hat. Vom Stausee wird das Wasser durch einen etwa 550 m langen Tunnel von 50 m² Querschnitt nach einem Verteilbecken geleitet, von dem aus es durch Einlaufkammern und durch die in den Fels in senkrechten Schächten einbetonierten eisernen Rohrleitungen den Turbinen zugeführt wird. Diese sind Francis-Zwillingsturbinen mit liegender Welle von rd. 12 500 PS, die je mit einem Stromerzeuger gekuppelt sind. Stromerzeuger und Turbinen sind in einem unterirdischen, aus dem Felsen ausgesprengten Maschinenraum aufgestellt. Von den Turbinen wird das Wasser durch einen 1300 m langen Ablauftunnel abgeleitet, der am Ende des Falles in den Fluß ausmündet.

3. Das Kraftwerk Untra, Abb. 9, gehört der Stadt Stockholm und dient ganz dem städtischen Kraftbedarf für Beleuchtung, Straßenbahn- und Fabrikbetrieb usw. Es liegt am Dalälven, rd. 100 km von Stockholm entfernt und nützt ein Gefälle von 12,38 bis 15,3, im Mittel etwa 13,8 m aus. Das Wasser wird den großen in Beton ausgeführten Turbinenkammern des Kraftwerkes durch einen 3½ km langen aus Erddämmen gebildeten Kanal zugeführt. Die Turbinen sind Francis-Zwillingsturbinen mit liegender Welle. Sie leisten je 10 000 PS und sind unmittelbar mit dem im Maschinensaal aufgestellten zugehörigen Stromerzeuger gekuppelt. Aus dem Turbinensaugrohr wird das Wasser mittels eines rd. 1000 m langen Unterwasserkanales, der größtenteils aus dem Fels ausgesprengt ist, dem Fluß am Ende des Falles wieder zugeführt.

4. Das Kraftwerk Forshuvudforsen, Abb. 10, gehört der Firma Stora Kopparbergs Bergslags A.-G., einem großen Unternehmen, das für seine verschiedenen Betriebe, hauptsächlich Holz- und Eisenveredlung, große Energiemengen verbraucht; diese erzeugt die Gesellschaft seit Jahren selbst durch zielbewußten Ausbau von Wasserkraftanlagen im Oberlauf des Dalälven. Das Kraftwerk Forshuvudforsen ist die neueste und modernste Anlage der Gesellschaft. Es nutzt ein über eine längere Strecke hin verteiltes Gefälle von rd. 10 m aus, das durch den Bau eines hohen Walzenwehres, das quer über den Fluß gelegt ist, gewonnen wird. Das Kraftwerk liegt in der Verlängerung des Walzenwehres und enthält Platz für drei Maschinensätze von je 7700 PS, von denen bis jetzt aber nur zwei eingebaut sind. Die Turbinen sind Francis-Einradturbinen mit stehender Welle, die unmittelbar mit den darüber aufgestellten Stromerzeugern gekuppelt sind. Die umlaufenden Teile des Maschinensatzes werden von einem auf das obere Armkreuz des Stromerzeugers aufgesetzten Spurlager getragen. Vom Saugrohrauslauf aus wird das Wasser dem Flusse durch einen kurzen aus dem Fels gesprengten Unterwasserkanal wieder zugeführt.

5. Das dem Staat gehörige Kraftwerk Trollhättan, Abb. 11 und 12, ist nunmehr auf 150 000 PS ausgebaut und dient der allgemeinen Kraftversorgung, hauptsächlich des westlichen Schwedens. Das Gefälle bei Trollhättan beträgt etwa 31 m. Das Wasser wird durch zwei etwa 1200 m lange Kanäle zwei Verteilbecken zugeführt, von denen aus es sich auf 13 Einlaufkammern verteilt, und wird von hier aus weiter durch die aus Fels ausgesprengten Tunnel, die mit einbetonierten eisernen Rohren aus-

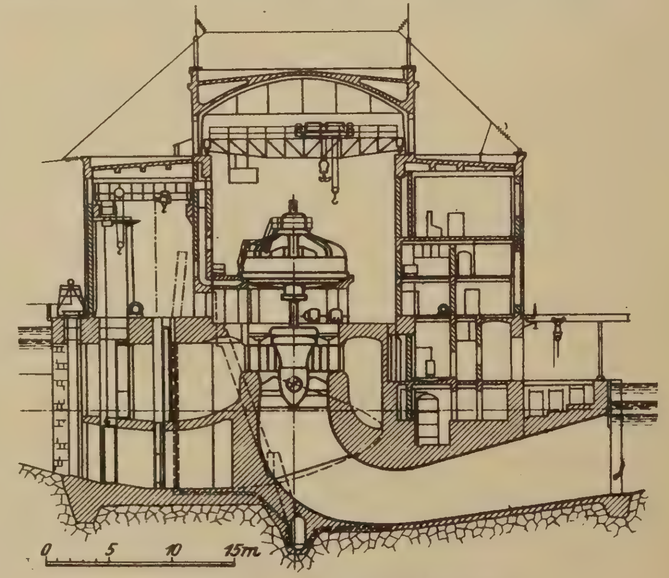


Abb. 13. Das Kraftwerk Lilla Edet.

[1]) s. a. Z. Bd. 64 (1920) S. 181.

gekleidet sind, den etwa 12 500pferdigen Zwillingsturbinen mit liegender Welle zugeleitet, die mit je einem Stromerzeuger gekuppelt sind. Turbinen und Stromerzeuger sind in einem großen Maschinensaal von rd. 24 m Breite und 146 m Länge aufgestellt. Die Saugrohre der Turbine gießen unmittelbar in den Fluß aus. Der erste Ausbau mit vier Maschinensätzen wurde im Jahre 1910 in Betrieb genommen, der zweite Ausbau mit weiteren vier Turbinendynamos 1914 und der dritte mit den fünf letzten Maschinensätzen 1921.

6. Schließlich sollen noch einige Mitteilungen über das Kraftwerk Lilla Edet, Abb. 13, gemacht werden, das z. Zt. im Bau begriffen ist und vom Staat in eigener Regie ausgeführt wird. Es liegt rd. 20 km unterhalb Trollhättan am Göta Älv und nutzt ein Gefälle von etwa 6,5 m aus. Um die Baukosten so weit wie möglich zu vermindern, werden neuzeitliche Schnelläuferturbinen zur Verwendung kommen, und zwar eine Kaplanturbine mit drehbaren Laufradschaufeln, die auch bei geringer Belastung einen guten Wirkungsgrad sicherstellt, und zwei Lawaczeckturbinen mit festen Laufradschaufeln und gutem Wirkungsgrad bei Vollbelastung. Die Turbinen erhalten je ein Laufrad mit senkrechter Welle, das mit den umlaufenden Teilen des Stromerzeugers von einem auf diesen aufgesetzten Spurlager getragen wird; das Lager muß einen Druck von nicht weniger als 440 t aufnehmen. Die Umlaufzahl beträgt 62,5 i. d. Min. Das Wasser wird den Turbinen durch eine in zwei Stockwerken ausgeführte Einlaufkammer zugeführt, die durch wagerecht geteilte Schützentafeln (eine für jedes Stockwerk) abgesperrt werden kann und in die der hauptsächlich dem Fischschutz dienende Rechen eingebaut wird. Die Einlaufkammer geht in die Zulaufspirale über, durch die das Wasser dem Leitapparat zuströmt. Hier wird der Riesenwirbel erzeugt, der 150 m³/s Wasser verbraucht. Nachdem das Wasser seine Energie an das Laufrad von 6 m Dmr. abgegeben hat, wird es durch das Saugrohr dem Fluß wieder zugeführt. Das Kraftwerk soll vorläufig drei Maschinensätze von je 10 000 PS erhalten und zunächst zusammen mit der Anlage Trollhättan Strom für elektrischen Eisenbahnbetrieb liefern.

[A 2097]

Das Laval-Getriebe.

Von H. B. Karlin, Stockholm.

Kurzer Bericht über die Entwicklung, heutige Konstruktion und Anwendung des Laval-Getriebes. Angaben über nunmehr zugelassene erhöhte Zahn- und Zapfengeschwindigkeiten; betriebswirtschaftliche Ergebnisse einiger ortfester Maschinen und Schiffsturbinen mit Getriebe.

Bei einem Rückblick auf die Entwicklung der Dampfturbine während der 30 Jahre oder etwas mehr, die seit dem ersten Erscheinen der Maschine auf dem Markt verflossen sind, wird man insbesondere für die letzte Zeit das Bestreben feststellen können, auf die ursprüngliche, von Dr. Gustaf de Laval schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts geschaffene Form zurückzugreifen: die Dampfturbine mit Zahnradübersetzung tritt wieder mehr in den Vordergrund.

Von gewissen Bestrebungen abgesehen, die bekanntlich in allerletzter Zeit erneutes Interesse gewonnen haben, kann man sagen, daß die Gesichtspunkte des Schnellbetriebs auch für die Entwicklung der Dampfturbine bezeichnend gewesen sind: höhere Schaufelgeschwindigkeiten und höhere Umlaufzahlen, um verbesserte Betriebswirtschaft und niedrigere Herstellkosten zu erreichen. Das wurde häufig durch Einführung des Zahnradgetriebes ermöglicht. Dabei konnte der Konstrukteur für eine vorliegende Turbine eine zweckmäßige Umlaufzahl wählen, unabhängig von der angetriebenen Maschine.

Eine hohe Umlaufzahl der Turbine führt zur Verkleinerung der Verluste durch Radreibung und Undichtheiten, ferner werden auch Gewicht und Abmessungen verringert. Besonders der letztere Umstand ist von Bedeutung, wenn Druck und Temperatur des Dampfes gesteigert werden, weil dabei unliebsame Spannungen oder Formänderungen leichter vermieden werden können.

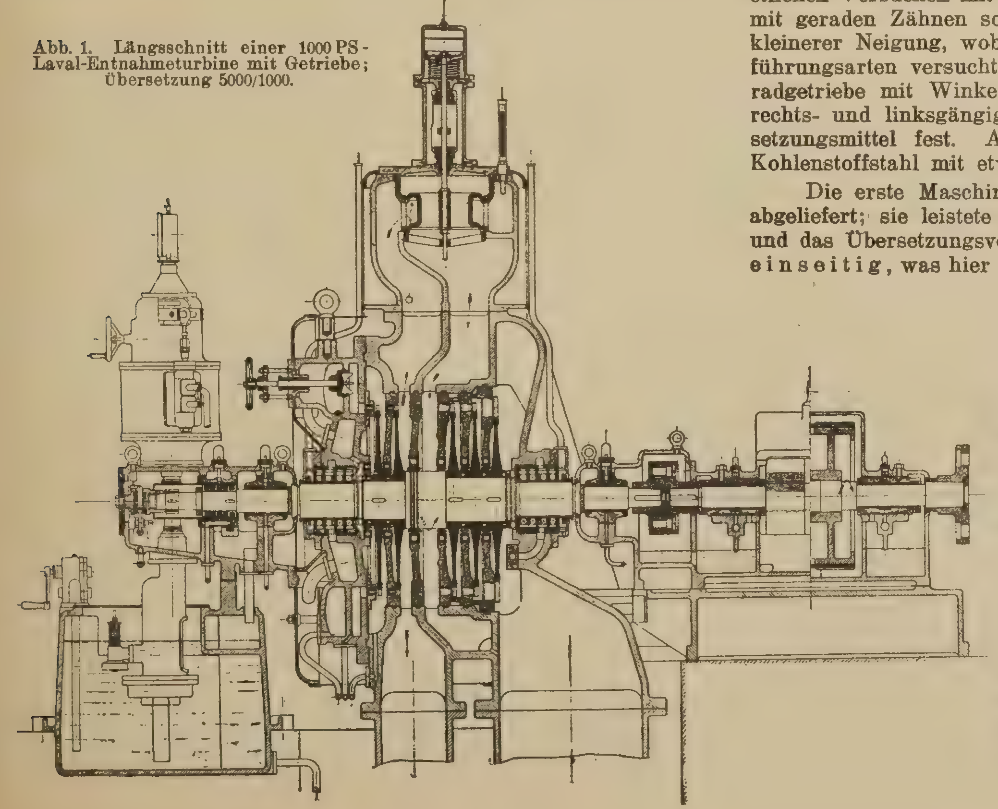


Abb. 1. Längsschnitt einer 1000 PS-Laval-Entnahmeturbine mit Getriebe; Übersetzung 5000/1000.

Die Herstellung der Turbine von de Laval wurde schon vor mehr als 30 Jahren von der Aktiebolaget de Lavals Angturbin in Stockholm aufgenommen, die somit früher als andere Turbinenfabriken in der Lage war, de Lavals Absichten in großem Umfang zu verwerten und die gründlichsten Erfahrungen an Turbinengetrieben zu erwerben. Im folgenden soll die Entwicklung des Lavalgetriebes, seine heutige Konstruktion und seine Anwendungsgebiete erörtert werden, wobei auch für die Wirtschaftlichkeit ihres Betriebes kennzeichnende Ergebnisse mitgeteilt werden. Die Darstellung betrifft ausschließlich die von der genannten Erbauerin ausgeführten Anlagen.

Als Dr. de Laval gegen Ende der 80er Jahre die Konstruktion seiner Dampfturbine ausgearbeitet hatte, konnte er in mehreren Beziehungen große maschinentechnische Fortschritte verzeichnen. Wahrscheinlich hat man sich im allgemeinen nicht näher überlegt, welchen Schwierigkeiten er begegnete, bevor er das Ziel erreichte. Umlaufzahlen von 10 000 bis 40 000 in der Minute, Zapfengeschwindigkeiten von 20 bis 30 m/s und Zahnrad-Umfangsgeschwindigkeiten von 30 bis 40 m/s war man damals geneigt, als betriebstechnisch unzulässig zu erklären. Nach etlichen Versuchen mit Reibrädern, Seilgetrieben und Zahnrädern mit geraden Zähnen sowie mit Winkelzähnen von größerer und kleinerer Neigung, wobei auch verschiedene Baustoffe und Ausführungsarten versucht wurden, stellte man am Ende ein Zahnradgetriebe mit Winkelzähnen von etwa 45° Neigung und mit rechts- und linksgängigen Zähnen als das zweckmäßigste Übersetzungsmittel fest. Als geeignetes Material wählte de Laval Kohlenstoffstahl mit etwas höherem C-Gehalt im Ritzel.

Die erste Maschine wurde im Jahre 1891 von der Fabrik abgeliefert; sie leistete 5 PS, ihre Welle machte 30 000 Uml./min, und das Übersetzungsverhältnis betrug 10 : 1. Das Getriebe war einseitig, was hier hervorgehoben werden mag; später wurden auch Getriebe mit zwei Rädern und dazwischenliegendem Ritzel gebaut.

Seitdem ist die Herstellung von diesen Lavalschen Getrieben mit Spiralzähnen von vielen Fabriken aufgenommen worden, und diese Kraftübertragung hat sich in gewaltigem Umfang eingebürgert. Leistungen von mehr als 15 000 PS werden heute durch ein einziges Ritzel übertragen, und es dürfte nicht übertrieben sein, wenn man die Gesamtleistung der bis jetzt ausgeführten Winkelzahngetriebe auf 15 bis 20 Millionen PS schätzt, wovon die überwiegende Mehrzahl auf Schiffsturbinen kommt.

Die Spiralzähne bieten gegenüber den geraden Zähnen entscheidende Vorteile. Jeder Zahn steht während einer längeren Zeit im Eingriff; es arbeiten deshalb eine größere Anzahl Zähne gleichzeitig. Dieser Umstand ist von

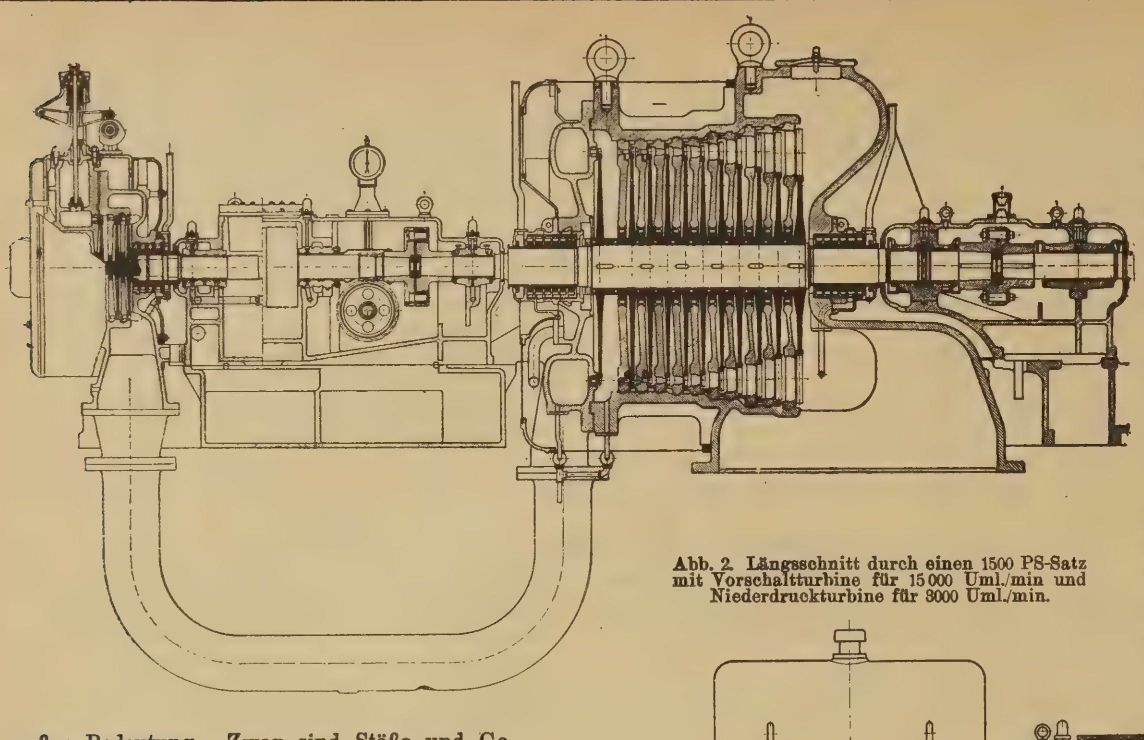


Abb. 2. Längsschnitt durch einen 1500 PS-Satz mit Vorschaltturbine für 15 000 Uml./min und Niederdruckturbine für 3000 Uml./min.

großer Bedeutung. Zwar sind Stöße und Geräusch in erster Linie von Ungleichmäßigkeiten der Zahnteilung abhängig, die auf die umlaufenden Massen beschleunigende oder verzögernde Kräfte ausüben, und je mehr Zeit für diese Geschwindigkeitsänderungen zur Verfügung steht, um so kleiner werden die Kräfte. Aus diesem Grunde verdient aber auch die Formänderung der Zähne Beachtung. Bei geraden Zähnen muß auf einmal die ganze Länge beeinflußt werden, bei Spiralzähnen wandert die Formänderung am Zahn entlang. Getriebe mit geraden Zähnen, die nach einem neuen Verfahren hergestellt waren, sind für Turbinenbetrieb versucht worden. Ergebnisse sind mir nicht bekannt, insoweit es sich um ortfeste Anlagen handelt; es verlautet aber, daß derartige Schiffsturbinengetriebe nicht befriedigt haben, und bei Turbinengetrieben wird der Spiralzahn wohl auch künftig seine Stellung behaupten.

Das Laval-Getriebe von heute unterscheidet sich nicht nennenswert von dem Getriebe der bereits erwähnten, im Jahre 1891 gelieferten Maschine; die hauptsächliche Änderung bestand in der Einführung von Druckschmierung. Die Entwicklung betraf vorzugsweise Herstellverfahren und Werkzeugmaschinen, die in Sonderausführung und mit sehr genauen Teilvorrichtungen ausgerüstet von der Laval-Gesellschaft konstruiert und erbaut werden.

Bei den älteren einstufigen Laval-Turbinen wurden die Getriebe von 50 PS aufwärts zweirädrig ausgeführt, um die Ritzellager zu entlasten. Nach Einführung von Druckschmierung wurde das eine Rad weggenommen und somit der spezifische Zahndruck auf einmal verdoppelt; irgendwelche nachteilige Wirkungen haben sich nicht gezeigt, und diese einstufigen Laval-Turbinen mit einseitigem Getriebe wurden dann für Leistungen bis zu 500 PS ausgeführt.

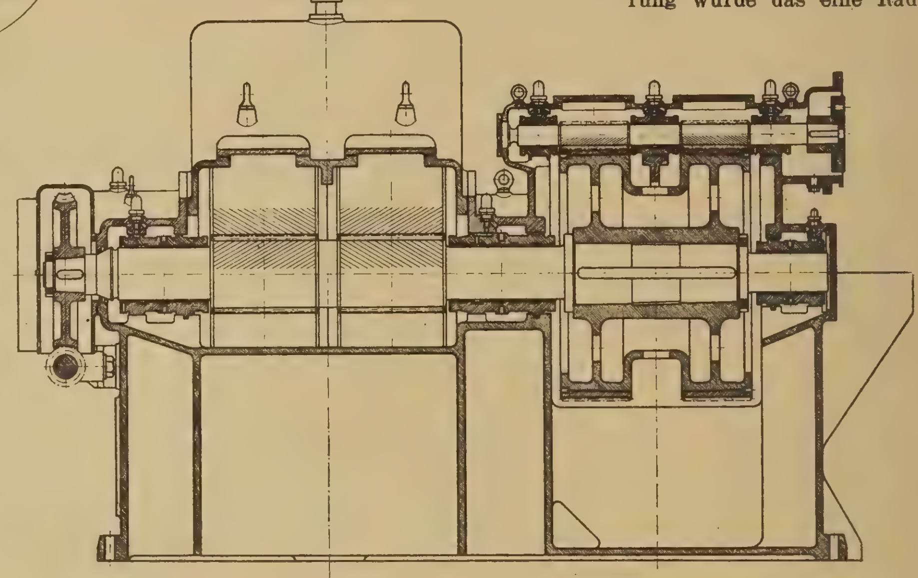


Abb. 3. Doppelgetriebe für Schiffsantrieb.

Im Jahre 1910 nahm die Laval-Gesellschaft die Herstellung von Getrieben für mehrstufige Turbinen auf, die, wie im folgenden mitgeteilt, vielseitige Anwendung gefunden haben.

Die Zahnrad-Umfangsgeschwindigkeit wurde in den letzten Jahren bedeutend erhöht. Früher wurde 40 m/s als Grenzwert betrachtet, heute werden Geschwindigkeiten von mehr als 70 m/s zugelassen, ohne daß eine Steigerung des Geräusches zu spüren ist. Die Ritzellager bereiten, dank der Druckschmierung, keine Schwierigkeiten. Flächenpressungen von 10 bis 12 kg/cm² und Zapfengeschwindigkeiten bis zu 75 m/s kommen vor.

Der Neigungswinkel der Zähne beträgt 25° bis 45°, und die größeren Getriebe werden im allgemeinen mit gekürztem Zahnkopf ausgeführt; die Zähne werden an den Enden unter 45° schräg abgeschnitten.

Abb. 4. Einfaches Getriebe für 3000 PS bei 2400/200 Uml./min.

Die kleinen Getriebe werden aus schwedischem Kohlenstoffstahl bester Güte hergestellt, mit einem C-Gehalt von 0,6 bis

0,7 vH im Ritzel und etwa 0,4 vH im Rade. Für die größeren Getriebe kommt für das Ritzel ein Chromnickelstahl in Frage, der vergütet wird; dabei wird das Ritzel häufig mit zentraler Bohrung ausgeführt.

Die Durchbiegung und Verdrehung des Ritzels muß innerhalb gewisser Erfahrungsgrenzen gehalten werden. Es werden ausschließlich feste Lager verwendet, und die Zwischenlagerung des Ritzels wird vermieden, es sei denn, daß die Rücksicht auf die Durchbiegung dazu nötigt.

Die genaue Herstellung der Zähne ist von entscheidender Bedeutung, besondere Aufmerksamkeit muß aber außerdem der Bearbeitung des Getriebekastens und der genauen Montage und kräftigen Unterstützung des Getriebes geschenkt werden. Die zeigt ein Doppelgetriebe mit 2 Primärritzeln; die Hochdruckturbine macht 4500, die Niederdruckturbine 4000 und die Schraubenwelle 75 Uml/min. Ein einfaches Getriebe ist in Abb. 4 dargestellt; es überträgt 3000 PS bei Umlaufzahlen von 2400 und 200 in der Minute. Dieses Getriebe gehört zu der Hochdruckturbine in der von der Laval-Gesellschaft im Jahre 1922 gelieferten Maschinenanlage für den Ozeandampfer „Drottningholm" („Virginian"); diese ersetzt die alten, unmittelbar gekuppelten Turbinen. Der Dampfer wurde gleichzeitig mit Ölfeuerung ausgerüstet; die Ersparnis an Brennstoff beträgt insgesamt etwa 50 vH, in Wärmeeinheiten gemessen. Von Mai 1922 bis Dezember 1923 hat das Schiff mit der neuen Maschinenanlage 140 000 Seemeilen zurückgelegt.

Zahlentafel 1.

Dampfer	Ladegewicht	Leistung	Umlaufzahl i. d. Min.			Dampfverbrauch für 1 Wellen-PSh[1])	mittlere Geschwindigkeit	gesamter Brennstoffverbrauch für 24 h		Probefahrt	zurückgelegte Entfernung bis 30. Nov. 1923
			Hochdruckturbine	Niederdruckturbine	Schraube			Kohle	Öl		
	t	Wellen-PS				kg	Knoten	t	t		Knoten
„Forsvik" . . .	1950	750	5430	4500	85	4,6	10,3	10	—	Sept. 1919	69 900
„Adour"	5000	1100	3500	3500	75	5,0	10	—	12	Mai 1921	95 000
„Atlantic" . . .	8356	2000	4500	4000	75	4,2	10	29 oder	17,5	Jan. 1921	142 000

[1]) ausschl. Hilfsmaschinen.

Mittellinien des Ritzels und des Rades müssen in einer und derselben Ebene liegen; zur Nachprüfung werden bei der Einschabung der Lagerfassungen im Gehäuse besondere Dorne benutzt.

Bei mehrstufigen Turbinen finden die Getriebe für Gleichstromerzeuger und für Wechselstromerzeuger mit niedriger Frequenz Verwendung; falls mit Rücksicht auf die Umlaufzahl nötig, werden auch Schleuderpumpen und Gebläse mittelbar angetrieben. Kleinere Gegendruck- und Entnahmeturbinen werden mit Getriebe geliefert, ferner die sogenannten Vorschaltturbinen, schnellaufende Hochdruckturbinen, die einer gewöhnlichen unmittelbar gekuppelten Niederdruckturbine vorgeschaltet sind.

Abb. 1 zeigt den Schnitt durch eine 1000pferdige Entnahmeturbine mit Getriebe, Übersetzung 5000/1000. Ein 1500 PS-Satz mit Vorschaltturbine für 15 000 Uml./min und Niederdruckturbine für 3000 Uml./min ist in Abb. 2 abgebildet. Für eine ähnliche Anlage, die im Jahre 1920 konstruiert wurde und 600 PS leistet, wurde bei 18 at abs. Dampfdruck und 325 °C Dampftemperatur ein Verbrauch von 3,9 kg/PSh festgestellt.

Ein Gebiet von gewaltiger Ausdehnung für die Verwendung des Getriebes bietet der Schiffsantrieb durch Turbinen. Es kommen sowohl einfache wie doppelte Getriebe in Frage. Abb. 3

Die beigefügte Zahlentafel enthält Angaben über einige kennzeichnende Maschinenanlagen mit Doppelgetrieben für Handelsdampfer. Wie daraus hervorgeht, standen die Dampfer mit vorzüglichem Ergebnis in ausgedehntem Betrieb. Die weniger erfreulichen Erfahrungen, die man offenbar vielerorts mit Schiffsgetrieben hat machen müssen, sind der Aktiebolaget de Lavals Ångturbin gänzlich erspart worden. Insgesamt wurden von den Lavalgesellschaften Getriebe für rd. 3 Mill. Pferdestärken ausgeführt.

Die Angaben über den Brennstoffverbrauch beanspruchen Beachtung. Von großem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit ist die Anordnung der Hilfsmaschinen. Die Lavalgesellschaft pflegt ihre Anlagen so auszuführen, daß Umlaufpumpe, Beleuchtungsgenerator und Ölpumpe durch schnellaufende Gegendruckturbinen angetrieben werden, und zwar machen diese 6000 bis 10 000 Uml./min, die durch Getriebe auf 1500 Uml./min herabgesetzt werden.

Nach Mitteilungen in der Fachliteratur hat das Doppelgetriebe zu recht ernsten Schwierigkeiten Veranlassung gegeben. Die Ursachen dürften in vielen Fällen an zu hohen spezifischen Zahnpressungen, ungeeignetem Material oder ungenauer Herstellung gelegen haben, am häufigsten aber an schlechter Montage auf zu schwachen Betten. [A 2]

Begrifferklärungen und Normen für Brennstoffuntersuchungen

nach einem schwedischen Vorschlag.

In der schwedischen Zeitschrift Teknisk Tidskrift, Chemie, 1924 Heft 2 ist ein recht bemerkenswerter Bericht eines von der schwedischen Ingenieurwissenschafts-Akademie im Jahre 1922 eingesetzten Ausschusses enthalten, der erstens die wichtigsten Bezeichnungen und Formeln, die bei Brennstoffuntersuchungen vorkommen, sowie zweitens die Probeentnahme, Probebereitung und Analyse von Brennstoffen zu vereinheitlichen bestimmt ist. Die Arbeiten über Bezeichnungen usw. sind nunmehr abgeschlossen und die Vorschläge des schwedischen Ausschusses werden den deutschen Fachkreisen in einem der nächsten Hefte des Archivs für Wärmewirtschaft zugänglich gemacht werden. Über die Probeentnahme usw. hat bereits der Dozent Norlin von der schwedischen staatlichen Prüfanstalt in Teknisk Tidskrift, Chemie, 1923 Heft 11 und 12 sowie 1924 Heft 1 berichtet.

Für die Bezeichnungen werden vier Bezugzustände unterschieden: 1) Probe im Einlieferungszustand, 2) lufttrockne Probe, 3) wasserfreie (trockene) Probe und 4) brennbare Substanz.

Die Begriffbestimmungen beziehen sich auf die Einheit für die Wärmemenge und auf den Wärmewert. Die Einheit der Wärmemenge wird wie folgt bestimmt:

„Die Einheit für die Wärmemenge wird Kalorie genannt und beträgt ein Hundertstel der Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur von 1 kg Wasser von 0 °C auf 100 °C zu erhöhen. Die Bezeichnung ist Cal."[1]).

[1]) In Deutschland rechnet man jetzt allgemein nach der Festsetzung des AEF mit der Kilokalorie (kcal), d. i. die Wärmemenge, durch die 1 kg Wasser von 14,5 auf 15,5 ° erwärmt wird. Sie ist nahezu gleich der oben bestimmten Wärmeeinheit. Als Kalorie (cal) bezeichnen wir den tausendsten Teil der Kilokalorie. Die Schriftleitung.

Beim Wärmewert ist zwischen dem kalorimetrischen und dem wirklichen Wärmewert zu unterscheiden, je nachdem das bei der Verbrennung frei werdende Wasser in flüssiger Form oder in Form von Dampf erscheint. Demnach lauten die Begriffbestimmungen:

„Kalorimetrischer Wärmewert (Verbrennungswärme) bei einem Brennstoff ist die Wärmemenge, die entsteht, wenn 1 kg Brennstoff vollständig verbrennt und hierbei alles bei der Verbrennung gebildete und gegebenenfalls im Brennstoff befindliche Wasser zu Flüssigkeit verdichtet ist."

„Wirklicher Wärmewert (Brennstoffwert) bei einem Brennstoff ist die Wärmemenge, die entsteht, wenn 1 kg Brennstoff vollständig verbrennt und hierbei alles bei der Verbrennung gebildete und gegebenenfalls im Brennstoff befindliche Wasser in Dampfform übergeht.',

Recht wertvoll ist eine Gegenüberstellung der in verschiedenen Ländern üblichen Bezeichnungen im Vergleich zu den schwedischen.

Auch für die Vordrucke für Analysenbescheinigungen sind einheitliche Bestimmungen vorgesehen. Es wird zwischen einer vollständigen und einer überschläglichen Analyse unterschieden. In jeder Bescheinigung müssen Angaben enthalten sein über: 1. Einlieferer der Probe, 2. Bezeichnung der Probe, 3. Verpackung der Probe, 4. Gewicht der Probe, 5. Stückgröße der Probe, 6. Einlieferungstag, 7. Analysennummer, 8. Analysendatum. Dann folgen die Probeergebnisse in bestimmter Reihenfolge. Dem Bericht sind zwei Musterformulare für die vollständige und die überschlägliche Analyse beigegeben. Auf der Rückseite der Analysenbescheinigungen sollen die wichtigsten Begriffbestimmungen abgedruckt werden.

Zweifellos werden die von Schweden vorgeschlagenen Normen über die Grenzen des Landes hinaus Beachtung finden, besonders da durch international einheitliche technische Begriffbestimmungen und Bezeichnungen der Gedankenaustausch zwischen den verschiedenen Ländern vereinfacht und die Gefahr von Mißverständnissen vermindert wird.

[M 252] R.

Die schwedische Eisen- und Holzindustrie.

Von Bergingenieur Direktor Dr. Harry von Eckermann, Ljusne.

Die Bedeutung der Holzkohlen für die Eisenerzeugung und Gewinnung von Nebenerzeugnissen — Umfang der Eisenerzlager und Reinheit der Erze- Güte des schwedischen Eisens; Erzeugung und Ausfuhr — Forstwirtschaft und Holzindustrie; Sägewerke, Abfallwirtschaft, Fördereinrichtungen.

Wälder und Eisengruben bilden den Grund, auf dem Schweden seit Jahrhunderten sein Wirtschaftsleben aufgebaut hat. Es gab eine Zeit, in der die schwedischen Eisengruben 38 vH Rohstoffe für die Eisengewinnung der ganzen Welt lieferten, und bis in das dreizehnte Jahrhundert zurück wurde das schwedische Eisen über ganz Europa verkauft. Die schwedischen Hüttenherren waren damals die unbestrittenen Herrscher des Marktes und hatten außer ihren Eisenwerken unbegrenztes Recht über das Brennholz in den mächtigen Wäldern, die das Land bedeckten, und wo sogar die stärksten Stämme durch Brennen in den Meilern in Holzkohle verwandelt wurden. Zu damaliger Zeit hatte Nutzholz als Ausfuhrware gar keinen Wert.

Heut ist die Lage ganz anders. Das Eisen, das Schweden jetzt herstellt, erreicht kaum 1 vH der Welterzeugung, während die Wälder, die früher fast wertlos waren, jetzt die Grundlage für eine der größten Holzwarenindustrien der Welt gegeben haben, die von großer Bedeutung für den Weltmarkt geworden ist. Das Eisen hat sich begnügen müssen, den Platz als Nebenerzeugnis der Wälder einzunehmen, und der Umfang seiner Erzeugung ist vollständig von der Menge des Holzabfalles abhängig, der zu Kohle verwandelt werden und den die Holzwarenindustrie entbehren kann, vergl. Abb. 1. Hauptsächlich besteht dieser Abfall aus Waldlichtungsholz, das man abholzt, um dem übrigbleibenden Walde Sonne und Luft zu geben, damit das Wachstum beschleunigt wird, daneben aber aus Baumwipfeln bei Abholzungen von gekrümmten, durch Fäulnis oder auf andre Weise beschädigten Waldungen und insbesondere aus dem Abfall in Form von Latten, der beim Sägen entsteht.

Abb. 1. Ein kennzeichnendes Bild der schwedischen Eisen- und Holzindustrie.

Holzkohlengewinnung.

Die Holzkohle aus dem nordischen Tannen- und Fichtenwald ist der chemisch reinste industrielle Brennstoff, der uns bekannt ist, und enthält nur sehr kleine Mengen Aschenbestandteile (0,15 bis 0,30 vH), insbesondere der für die Eisenherstellung so gefährlichen Phosphor- und Schwefelverbindungen. Noch niedriger wird der Gehalt dieser Verbindungen dadurch, daß das Holz auf Flüssen nach den Werken herabbefördert wird, wodurch der hauptsächlich im Außenholze sitzende Phosphor vom Wasser ausgezogen wird. Der Verfasser dieser Zeilen hat während der letzten Jahre eine systematische Untersuchung des Phosphorgehaltes in den schwedischen Nadelbäumen durchgeführt und dabei gefunden, daß in dem geflößten Holz der Phosphorgehalt auf weniger als 0,002 vH heruntergehen kann, zuweilen bei langem Flößen bis auf 0,001 und tiefer. Da im Durchschnitt 2 m³ Sägeabfall für 1 m³ Holzkohle verbraucht werden, und 6 m³ Holzkohle zur Herstellung von 1 t Roheisen draufgehen, entspricht 0,001 vH Phosphor im Holz 0,006 vH im Roheisen, unter der Voraussetzung, daß aller Phosphor in das Roheisen übergeht.

Diese Entphosphorung der schwedischen Holzkohle ist durch die geographische Eigenart des Landes möglich gemacht, da zum Flößen benutzbare Ströme durch das Land ziehen und in das Meer ausmünden, an dessen Küsten die industriellen Werke in überwiegender Anzahl gelegen sind. Besonders gilt dies für Norrland, d. h. Schweden nördlich der Dalelf, das allein mehr als 133 000 km² abholzbare Wälder umfaßt und von rd. 22 000 km Flößlinien durchzogen wird. Das bedeutet, daß der durchschnittliche Abstand von den Flößgewässern bis zum Walde niemals größer als 7 bis 8 km ist und daß also in Wirklichkeit der ganze schwedische Wald auf dem Wasserwege nach der Küste oder den Industriewerken geführt werden kann.

Das alte Verfahren, Holzkohle in Meilern in den Wäldern zu erzeugen, fängt infolgedessen auch an, mehr und mehr zu verschwinden. Statt dessen wird das Holz nach den Sägewerken geführt, wo sogar der Sägabfall gesammelt wird, und die Holzkohle wird in ununterbrochen arbeitenden Verkohlungsöfen hergestellt. Diese gibt es in verschiedenen Systemen, die das eine gemeinsam haben, daß sie alle versuchen, die durch das Verkohlen gebildeten Nebenerzeugnisse: Teer, Karbolineum, Essigsäure, Methylalkohol, Terpentin und Azeton, auszubeuten. Die beiden technisch am meisten vollendeten Konstruktionen sind die Rohrwagenöfen und die Aminoffschen Öfen. Bei den Rohrwagenöfen wird die Wärme durch Wärmeelemente zugeführt, die mit den unkondensierbaren Destillationsgasen und mit Gas aus dem Holzabfall-Gaserzeuger geheizt werden. Das Ofengut wird auf eisernen Wagen, die auf Schienen laufen, eingefahren. Bei den Aminoffschen Öfen werden die unkondensierbaren, im Regenerator erwärmten Gase der Nebenproduktenanlage unmittelbar in den Ofenraum eingeleitet.

Es ist gelungen, in den letzten Anlagen bis auf einen Brennstoffverbrauch von 5 vH des zu verkohlenden Holzes herunterzukommen, d. h. man nähert sich dem theoretischen Wärmeverbrauch, der, da der Verkohlungsvorgang fast endothermisch verläuft, so ziemlich Null erreicht. Die Aminoffschen Öfen werden wie lange geneigte Tunnel gebaut, durch die Eisenkörbe, die Holz enthalten, die Neigung hinab führen und die Gase mit einer Temperatur von 400 bis 500 °C gemäß dem Gegenstromgrundsatz den entgegengesetzten Weg streichen.

Die gesamte Holzkohlengewinnung betrug im Jahre 1917 in Schweden bis 4 655 000 m³, wovon rd. 500 000 m³ in Öfen verkohlt wurden. Die dabei gewonnenen Nebenerzeugnisse haben einen Markt in der ganzen Welt: Teer zum Tränken von Holzfahrzeugteilen und Nutzholz, Holzgeist als Lösungsmittel und Rohstoff in den chemischen Fabriken, besonders in Deutschland, Essigsäure zur Herstellung von Speiseessig und Terpentin zur Farbenmischung. Durch die hohe Verkohlungstemperatur in den kontinuierlichen Öfen erhält Terpentin sicherlich eine geringere Güte als in Deutschland, Frankreich und Amerika. Hier wird Terpentin unmittelbar durch Abzapfen aus dem wachsenden Holz gewonnen, indem das natürliche Terpenen zu dem weniger leichtflüchtigen Dipenten übergeführt wird. Jedoch spielt das schwedische Terpentin für einfachere Verwendungszwecke infolge seines niedrigen Preises eine bedeutende Rolle auf dem Weltmarkt. In einer Anlage in Schweden, wo man den Vorteil der kontinuierlichen Verkohlung geopfert hat und anstatt dessen eine fraktionierte Abdestillierung des Terpentins aus den Öfen durchführt, erhält man bei allen Temperaturen unter 165 °C natürlichen Terpentin, der mit dem französischen Erzeugnis auf gleicher Stufe steht.

Eisenerze.

Über die Hälfte der schwedischen Holzkohlengewinnung oder rd. 2 Mill. m³ werden von Norrland nach den Eisenwerkbezirken im mittleren Teile des Landes, dem sogenannten Bergslagen, geschafft. In diesem Teile Schwedens liegen die von alten Zeiten her betriebenen Eisengruben, die durch die Reinheit des Erzes im Verein mit der Kohle dem schwedischen Eisen und Stahl seine hohe Güte gegeben haben. Weltberühmt sind die Grubenfelder bei Persberg, Bispberg und Dannemora, wo der Phosphorgehalt auf einige tausendstel Hundertteile heruntergeht, und die dem Stahl einen „body“ geben, der von keinem andern Erzeugnis erreicht worden ist.

Worin dieser „body“, d. h. die Fähigkeit des Stahles besteht, sich umhärten, anstrengen und verschleißen zu lassen, ohne daß er seine Güte verliert, ist noch nicht aufgeklärt worden. Viel

spricht für die Auffassung des Verfassers, daß der Grund besonders in der ganz geringen Aufnahme von Gasbestandteilen während der Herstellung des Stahles besteht und daher auf die Eigenschaft des Erzes zurückzuführen ist, das während des Schmelzens im Hochofen eine solche Gasaufnahme verhindert, sowie auf dieselbe Fähigkeit der folgenden Veredlungsverfahren.

Diese phosphorfreien Erze, deren Gegenstück an keiner andern Stelle der Welt zu finden ist, in Verbindung mit dem phosphorreinen Brennholz sind auch der Hauptgrund, weshalb die schwedische Eisenerzeugung — auch wenn sie ihre frühere leitende Stellung in der Welt hinsichtlich des Umfanges verloren hat, doch hinsichtlich der Güte stets einen Ehrenplatz einnimmt und immer noch die ganze Welt zum Markt hat.

Außer der Reinheit von Phosphor zeichnen sich diese mittelschwedischen Erze auch in hohem Grade wegen ihrer Reinheit von Schwefel aus und sind infolgedessen zusammen mit leicht schmelzbaren Bergartmineralien in den Hochöfen unter Bildung einer geeigneten Schlacke auch leicht in Eisen zu verwandeln.

Nach dem Weltkrieg ist der Abbau des schwedischen Erzes an Menge zurückgegangen, jedoch kann die normale Förderung von schwefel- und phosphorreinen Erzen auf 1 Mill. t geschätzt werden. Hierzu kommt ein Abbau von 6 Mill. t phosphorhaltiger Erze für die Ausfuhr, hauptsächlich nach Deutschland (Ruhrbezirk und Schlesien), Belgien, England und Amerika. Diese phosphorreichen Erze, die teils in Mittelschweden bei Grängesberg, teils in Lappland bei Gellivara und Kiiruna oberhalb des Polarkreises zu finden sind, können in größerem Umfang innerhalb des Landes nicht verarbeitet werden, da kein Koks vorhanden ist. Nur in dem größten Eisenwerke Schwedens, Domnarvet, sowie in einigen kleineren, wie Bångbro, sind diese Erze zeitweise mittels Koks geschmolzen und dann in der Bessemerbirne



Abb. 2. Der größte Hochofen Schwedens bei den Ljusne-Werken, 1922 gebaut.

verarbeitet worden. Außerdem ist während der Kriegsjahre ein größeres neues Kokswerk in Oxelösund an der Ostküste gebaut worden, wo aus denselben Erzen Gießereiroheisen für den Gebrauch der einheimischen Roheisengießereien hergestellt wird.

Die schwedische Ausfuhr der phosphorhaltigen Erze gründet sich auf die bekannte Tatsache, daß es billiger ist, die schweren Erze zu den Kohlen, als die Kohlen (bzw. den Koks) zu den Erzen zu schaffen. Da das phosphorfreie schwedische Holzkohlenbrennholz zu teuer für die minderwertige Eisensorte ist, die aus den Norrlanderzen hergestellt wird, ist man also gezwungen, immerfort die Hauptmenge davon auf dem deutschen Markt auszubieten. Der Bestand ist recht groß. Der jährliche Abbau erreicht 5 Mill. t Erz; die nicht abgebauten Erzvorräte reichen bis zu 300 m tief und werden auf nicht weniger als 1500 Mill. t berechnet[1]).

Eisen- und Stahlgewinnung.

Das in Schweden veredelte reine Erz wird in verhältnismäßig kleinen Ofeneinheiten geschmolzen, wovon der größte Ofen, der 1922 bei den Ljusnewerken an der Norrlandküste errichtet worden ist, nur eine Leistung von höchstens 58 t täglich erreichen kann, Abb. 2. Man wendet niedrigeren Gebläsedruck und vor allem niedrigere Windtemperatur als in den Kokshochöfen an, höchstens 400 bis 450 °C. Dadurch wird eine bessere Überwachung des Betriebes ermöglicht und vor allen Dingen das Roheisen einer geringeren Gasaufnahme ausgesetzt.

Wie Professor Leffler von der Technischen Hochschule Stockholm hervorgehoben hat, wird das Eisen in einem Kokshochofen einer stärkeren Einwirkung des freien Sauerstoffes als in einem Holzkohlen-Hochofen ausgesetzt. Denn während 100 kg Holzkohlen dem Gebläsewind eine Angriffsfläche von 191 m² bieten, hat Koks von gleichem Gewicht nur 35 m² Fläche, so daß die niederfallenden Eisentropfen viel längere Zeit im Kokshochofen als im Holzkohlenofen der Reduktion durch den freien Sauerstoff oder Sauerstoff in Form von Kohlensäure unterliegen.

Während die Kokshochöfen mit einer starken basischen Schlacke zwecks Reinigung des Eisens von Schwefel betrieben werden müssen, können die schwedischen Holzkohlenöfen dank der Reinheit des Erzes und des Brennstoffes von Schwefel mit saurer Schlacke betrieben werden. Am besten wird das durch nachstehenden, von Professor Leffler durchgeführten Vergleich zwischen deutschem und schwedischem Eisen mit der dazugehörigen Hochofenschlacke erläutert werden.

Deutsches Roheisen.

	Hämatit vH	Thomas-Roheisen vH
C	3,74	3,7
Si	2,86	0,6
Mn	1,18	1,5
P	0.067	2,0
S	0,021	0,055
Zusammensetzung der Hochofenschlacke.		
SiO_2	28,44	32,5
Al_2O_3	14,51	15,7
FeO	0,98	0,8
MnO	1,61	2,6
MgO	4,21	2,8
CaO	46,16	44.5
P_2O_5	—	0,3
S	3,74	0,93

Schwedisches Roheisen.

	Bessemer vH	Martin vH	Lancashire vH	Wallon vH
C	4,32	4,24	3,90	3,96
Si	1,60	1,13	0,25	0,15
Mn	3,28	0,83	0,25	1,35
P	0,022	0,018	0,055	0,014
S	0,005	0,012	0,011	0,013
Zusammensetzung der Hochofenschlacke.				
SiO_2	44,09	48,15	47,32	44,76
Al_2O_3	7,29	8,91	5,30	2,76
FeO	1,54	1,09	1,59	1,35
MnO	2,85	1,60	1,26	6,05
MgO	15,51	12,45	17,32	23,60
CaO	29,15	28,08	25,20	21,60
P_2O_5	0,007	0,003	0,012	0,005
S	0,200	0,120	0,074	0,076

Die schwedische Roheisenerzeugung erreicht normal 700 000 t, die in 132 vorhandenen noch benutzbaren Hochöfen hergestellt werden. Hiervon wird ein Teil zur Veredlung außerhalb des Landes verkauft, und in normalen Zeiten war Deutschland besonders ein großer Abnehmer des schwedischen Eisens für Sonderzwecke, wo eine besondere Güte der fertigen Erzeugnisse gefordert wurde. Der Rest von 300 000 t wird in den schwedischen Werken zu Lancashire-Eisen, Wallon-Eisen oder Stahl verarbeitet.

Die alten Wallonschmieden, die jetzt nur noch in begrenztem Umfang in „Dannemora Bergslag" zu finden sind, arbeiten ebenso wie die Lancashireschmieden nach einer Art Puddelverfahren, wobei das Roheisen durch Schmelzen mit Holzkohle zu weichem Eisen unter Anwendung von Luft und Schlacke als Frischungsmittel gefrischt wird. Das Wallon-Eisen wird alsdann als Rohware nach den Tiegelstahlwerken ausgeführt, wo seine Reinheit es zu einem ausgezeichneten Ausgangstoff für Edelstahlgewinnung macht, wie folgende Analyse zeigt:

Si = 0,02 vH; Mn = 0,09 vH; P = 0,010 vH und S unter 0,005 vH.

Das Lancashire-Eisen wird in zwei Sorten hergestellt, zum Teil soll es den weichen Stahl dort ersetzen, wo großer Widerstand gegen Rosten und große Zähigkeit verlangt werden. Beide Eigenschaften werden durch die faserige Struktur dieses Eisens erreicht, da die Eisenfasern durch dünne Schlackenschichten von-

[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 1139.

einander getrennt werden. Zum andern Teil bildet es ebenso wie das wallonische Eisen die Grundlage der Tiegelstahl-Herstellung.

Die erstgenannte Sorte, das Lancashire-Walzeisen, wird in Schweden in sehr großem Umfange z. B. bei der Herstellung von Ketten verwendet, die in ansehnlichen Mengen bei der Waldarbeit und Holzflößerei verbraucht werden und der Verrostung stark ausgesetzt sind. Auch nach Indien und Amerika werden jährlich große Mengen verschifft. Dabei ist für Indien ausschlaggebend, daß das Eisen im Gegensatz zum weichen Martinstahl von ungeübten ländlichen Schmieden behandelt, umgearbeitet, von neuem erwärmt und bis zur Weißglut erhitzt werden kann, ohne verdorben zu werden. Schutz vor Verbrennung, d. h. vor der Oxydation der Eisenkristalle, bietet dabei das Schlackennetz. Die Haupterzeuger dieses Eisens sind Laxå, Boxholm, Färna, Ockelbo, Skyllberg und Iggesund.

Die andere der beiden Sorten, die Lancashire-Rohschienen, werden ausnahmslos von Schweden ausgeführt nach den Tiegelstahl- und Werkzeugfabriken in Solingen, Sheffield und Philadelphia — um drei typische Abnehmer auf dem Handelsmarkt zu nennen. Die Bezeichnung Rohschienen ist davon herzuleiten, daß die vom Frischherde kommende schlackenhaltige Schmelzmasse nach dem Auspressen der Schlacke unter dem Dampfhammer ohne erneute Erwärmung zu 3″ × ⅝″ dicken platten Schienen ausgewalzt wird, deren Oberfläche durch haftenbleibende Schuppen und Unebenheiten ein grobes Aussehen erhält. Diese Rohschienen werden entweder durch Erhitzung und Einwirkung von kohlehaltigem Gas zu sogenanntem „blister-steel“ (Sheffield) verarbeitet, oder auch in Stücke zerschnitten und unter Zusätzen zu Stahl in Tiegeln und elektrischen Öfen geschmolzen (Ruhrbezirk).

Als Beispiel für die weitere Reinigung von Schwefel und Phosphor, die auf den Lancashire-Herden während der Erzeugung des Eisens erreicht wird, möchte ich folgende Analysen anführen, die ich an Material der für eine Erzeugung von 20 000 t Rohschienen jährlich eigens eingerichteten Ljusne-Werke ausgeführt habe:

	C vH	Si vH	Mn vH	P vH	S vH
Roheisen	3,96	0,15	1,66	0,021	0,022
Rohschienen . .	0,02	0,02	0,15	0,013	0,005

Wenn auch das obengenannte Werk das einzige Sonderwerk für ausschließlich Rohschienen ist, so werden diese doch in ebenso hoher Güte seit langer Zeit auch von den Werken Österby, Svartå und Iggesund hergestellt. Dazu ist in den letzten Jahren das neu angelegte Werk bei Gisslarbo in Bergslagen getreten.

Schwedens Gesamterzeugung von wallonischem und Lancashire-Eisen beträgt zurzeit rd. 35 000 t, und wenn auch die Wirtschaftlichkeit der Herstellung durch die infolge des Achtstundentages kürzlich eingetretene Steigerung der Arbeitskosten um 50 vH erheblich vermindert worden ist, so dürfte doch dieser schwedischen Qualitätsware für die Zukunft ein ständig sich erweiternder Markt gesichert sein. Denn die immer mehr gesteigerten Forderungen hinsichtlich der Güte des Stahls für Werkzeuge, den Motoren- und Flugmaschinenbau, zwingen die Erzeuger von Edelstahl mehr und mehr, von der Verarbeitung des billigeren Koks-Roheisens abzusehen und zu den schwedischen, unter Verwendung von Holzkohle hergestellten Rohschienen überzugehen.

Ein besonderes Beispiel hierfür bildet Amerika, wo man sich früher nur in begrenztem Umfange der schwedischen Rohschienen bediente und an ihrer Stelle für Werkzeugstahl einheimisches Eisen verwendete. Während der letzten Jahre hat sich dort ein kräftiger Aufschwung der schwedischen Rohschieneneinfuhr trotz der mächtigen Zollmauern bemerkbar gemacht, die kürzlich dagegen aufgerichtet worden sind, und trotz des stark vermehrten Wettbewerbes mit elektrisch hergestelltem, bedeutend billigerem Qualitätsstahl.

Es liegt auf der Hand, daß Schweden mit dem reinen Rohstoff, der ihm zur Verfügung steht, auch ein Erzeuger von Stahl höchster Qualität sein muß. Nachdem Schweden seinerzeit als der an erster Stelle stehende Erzeuger von saurem Bessemerstahl auf dem Weltmarkt erschienen war, der auf dem großen Eisenwerk Sandviken zu höchster Vollendung gebracht wurde, und sich dann Iggesund, Hagfors, Långshyttan und andere Werke angeschlossen hatten, herrscht in der schwedischen Ausfuhr heute der Martinstahl vor.

Während die Martinöfen in den übrigen europäischen Ländern mit Steinkohle, Gas oder Rohöl (Rußland) geheizt werden, wird in Schweden in der Regel Gas aus Holzabfällen als Brennstoff verwendet. Dieses Gas ist im Gegensatz zu den erstgenannten Heizstoffen, also auch dem Rohöl, frei von Schwefel, macht also eine Entschwefelung des Stahls überflüssig und ermöglicht somit auch die Erzeugung einer höheren Qualität. Während man an andern Stellen den Stahl hauptsächlich in basischen Öfen erzeugt, kann man in Schweden bei den reinen Ausgangstoffen die saure Beschickung der Öfen vorziehen, woraus sich eine dünnere Schlackenschicht, höhere Einsatztemperatur und bedeutend verringerter Eisenoxydgehalt im fertigen Stahl ergeben. Außerdem benutzt man in Schweden verhältnismäßig kleine Öfen, die eine Beaufsichtigung des Schmelzvorganges in seinen Einzelheiten ermöglichen, was bei einer Massenherstellung nicht der Fall ist.

Bekannte schwedische Erzeuger solchen Stahls sind Sandviken, Uddeholm, Långshyttan, Vikmanshyttan, Bofors, Kolswa, Avesta, Degerfors, Hofors, Forsbacka, Oesterby, Söderfors, Suruhammar und Hällefors. Dazu kommt eine größere Anzahl kleinerer Werke sowie Werke, die Handelsstahl von geringerer Güte herstellen. Die gesamte Stahlerzeugung dieser Werke beläuft sich auf 200 000 t jährlich.

Bei mehreren Werken hat das Erzeugungsprodukt eine ganz besonders hohe Vollendung erreicht. Wer im Sommer 1923 die Gotenburger Ausstellung besucht hat, hat sicherlich auch die Uhrfedern und kaltgewalzten Förderbänder Sandvikens, Uddeholms Kaltwalzstahl, Iggesunds Sägeblätter, Bofors und Kolswas Stahlgußwaren, Avestas gepreßte Blechkonstruktionen, die von Hofors und Forsbacka hergestellten Kugellager in den mannigfachen Ausführungsformen der SKF und NKA, Suruhammars Preß-Schmiedestücke und die Geschütze und panzersprengenden Granaten von Bofors würdigen können.

Die schwedische Eisen- und Stahlerzeugung aller dieser genannten und ungenannten Werke bildet auch die Grundlage der hochwertigen Erzeugnisse der schwedischen Maschinenindustrie, von deren Ausdehnung und Vielseitigkeit man ebenfalls auf der genannten Ausstellung mit ihren Mustern von Motoren und Motorwagen, Lokomotiven, Sägemaschinen, Werkzeugmaschinen und Werkzeugen aller Art ein Bild bekam.

Der Verkaufswert der schwedischen Eisenerzeugung beläuft sich heute auf mehr als 600 Mill. Goldmark jährlich, und wenn in Europa normale Verhältnisse herrschen würden, könnte diese Ziffer sicherlich noch bedeutend überschritten werden. Sie bezeichnet jedoch keineswegs den führenden Ausfuhrposten im gegenwärtigen Wirtschafts- und Handelsleben Schwedens.

Die Holzindustrie.

Die Hauptindustrie bildet heute die Holzverwertung, die Ausnutzung der Wälder in Form von gesägtem Holz, Papiermasse und Papier. Der jährliche Wert der Erzeugnisse, die die Sägewerke und Holzmassefabriken auf den Weltmarkt werfen, beläuft sich nämlich auf nicht weniger als 1600 Mill. Goldmark und wächst ununterbrochen in dem Maß, in dem die jetzt noch großen Abfallmengen mit der auf diesem Gebiete rasch fortschreitenden technischen Entwicklung ausgenutzt werden.

Der Weltmarkt der schwedischen Holzwaren ist in drei Umständen begründet: Einer gütigen Natur, guter Forstwirtschaft und den Erfindungen und Konstruktionsleistungen schwedischer Ingenieure.

Im Gegensatz zu den geographischen Verhältnissen in den andern beiden größten Holzproduktionsländern der Welt, Rußland und Kanada, fließen die schwedischen Ströme, die auf ihrem breiten Rücken das Holz nach den industriellen Werken tragen, geradeswegs von den Wäldern nach dem offenen Meer, wo die Werke von den Handelsflotten der ganzen Welt leicht aufgesucht werden können. Während sich für Schweden die Möglichkeit bot, praktisch alle seine holzveredelnden Werke an einer solchen idealen Küste entlang anzulegen, fließen in den beiden Hauptwettbewerbländern die Ströme in ein meist zugefrorenes Eismeer. Das Klima ist dort zu kalt, die für die Flößerei zur Verfügung stehende Zeit zu kurz und die Schiffahrt zu gefährlich, als daß sich eine Industrie mit wirklichem Erfolge betätigen könnte.

Einst befanden sich auch an den Zuflüssen des großen Mississippiflusses entlang große Waldgebiete, sie sind jedoch durch einen rücksichtslosen Raubbau nunmehr, praktisch genommen, vernichtet. In Schweden dagegen hat sich einerseits eine freiwillige gute Bewirtschaftung der Wälder geltend gemacht, die nicht nur Rücksicht nahm auf die Forderung der Stunde, sondern auch der Zukunft, anderseits ist in den letzten Jahren einer guten Waldwirtschaft — deren Grundsatz darin besteht, daß nicht mehr als der jährliche Nachwuchs dem Wald entnommen werden darf, — Nachdruck verliehen worden durch staatliche Schutzgesetze und Hilfsorgane. Der schwedische Staat, der selbst



Eigentümer großer Waldgebiete ist, versucht mit mustergültiger Bewirtschaftung voranzugehen und hat eine Waldversuchsanstalt angelegt, deren wissenschaftliche Forschungsergebnisse den praktischen Maßnahmen zugrunde gelegt werden.

Dr. phil. Frans Kempe, der selbst Besitzer großer Waldgebiete in Norrland ist, hat auf eigene Faust zuerst diese wissenschaftliche Grundlage der Waldbearbeitung geschaffen. Tausende kilometerlange Gräben, die er in seinen Wäldern hat ziehen lassen, um versumpfte Gebiete auszutrocknen und neuen Waldwuchs zu schaffen, haben zur Gewinnung von großen Gebieten für die Waldwirtschaft geführt. Sein Beispiel wird in immer größerem Umfange von den übrigen Waldbesitzern nachgeahmt. Die oben genannte Ziffer für das schwedische Waldgebiet wird daher mit der Zeit beträchtlich zunehmen. Auch dürfte man heute kaum noch einen größeren Waldbesitzer finden, der auf seinem Gebiete keine „Probeflächen" angelegt hat. Auf diesen probiert er die für den betreffenden Boden am besten geeignete Pflege aus, um ihn so bearbeiten zu können, daß er die größte Zuwachsziffer aufweist und die schönste Wuchsform ergibt, bei der der geringste Abfall entsteht. In vielen Fällen sind Ergebnisse erreicht worden, die im Vergleich zu früheren Erträgen über 100 vH Steigerung aufweisen.

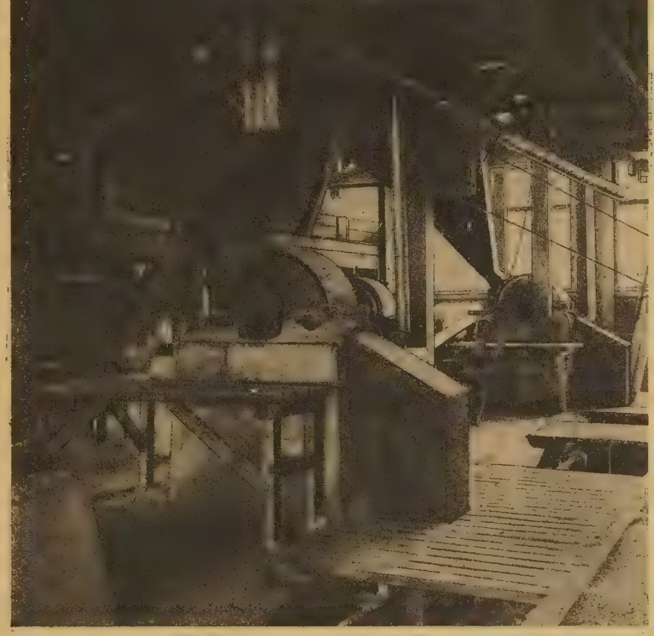


Abb. 4. Das Zerquetschen von Holzabfall in einer schwedischen Sägemühle.

Sägewerke.

Hand in Hand mit der Verbesserung der Waldpflege ist die Technik vorwärts geschritten, die eine Verminderung des Abfalls von den rd. 30 Mill. m³ Holz, die jedes Jahr in den Wäldern gefällt werden, möglich machte. Schon im Walde sortiert man die für die Säge bestimmten Stämme, das für die Holzmassefabriken geeignete Holz und das kleinere Fichten- und Kiefernholz. Alles, was auf den Floßwegen geflößt werden kann, wird ins Wasser gebracht, während der Abfall, der im Walde verbleibt, gröbere Äste, Baumwipfel usw. zu Meilern gesammelt und in Holzkohle verwandelt wird, die im Winter an die nächste Eisenbahn-Haltestelle herangeschafft oder nach den Eisenwerken befördert wird.

Beim Flößen nach den Sägewerken saugt sich das Holz voll Wasser, was von großer Bedeutung für seine Güte ist, da die Feuchtigkeit bei der Trocknung des gesägten Holzes in den Holzlagern vom Kern aus nach außen dringt und dabei die Entstehung von Rissen verhindert. Die neuzeitlichen schwedischen Sägewerke, z. B. Uddeholm in Värmland, Vifsta Varf und Skönvik im Bezirk Sundsvall, Hybo und Ström im Bezirk Hudiksvall, Ljusne, Ala und Mariehill im Bezirk Söderhamn und Skutskär und Korsnäs bei Gävle, werden alle mit elektrischem Strom getrieben, wobei jede Gruppe von Maschinenanlagen soweit wie möglich ihre eigenen Motoren hat, um einen ungestörten Betrieb sicherzustellen.

Von den mit Wasserkraft angetriebenen Sägerahmen des Jahres 1850 mit einer Verarbeitung von 50 Stämmen täglich ist man heute zu Maschinen gelangt, die die gleiche Anzahl in 1 h verarbeiten und zwar zu Planken und Brettern. Die größten schwedischen Sägewerke haben 14 solche Schnellsägerahmen, aber schon mit einer 8rahmigen Säge erreicht man eine Leistung von 15 000 „Standards" (zu 4,673 m³) jährlich und darüber, wobei man im Winter immerhin nur mit einer Schicht von 8 h während des Tages arbeitet. Das für das Zersägen im Winter bestimmte Holz wird an Land gerollt und zu großen Haufen aufgeschichtet, entweder mittels besonderer Hebeeinrichtungen, sogenannten Holzpferden, oder mit Kabelkranen, die auch die Stämme vom Lagerplatz unter die Säge fördern. Abb. 3 gibt das Bild eines Sägewerks. Im Sommer wird das Holz unmittelbar aus dem Wasser gezogen, und zwar mit Ketten, die mit scharfen Spitzen versehen sind und die Stämme in Rinnen selbsttätig an die Säge heranschleppen, so daß diese ständig gespeist wird. Die beim Kanten der Planken und Bretter abfallenden Leisten werden nach den Kohlenöfen verfrachtet, während der gröbere Abfall zu Kistenholz, Dauben für Zementtonnen, Latten für die Bekleidung von Hauswänden, Besenstielen usw. verarbeitet wird.

Abfallwirtschaft.

Schließlich finden auch Sägespäne und kleinere Abfallstücke, die in umlaufenden Quetschmaschinen, Abb. 4 und 5, zermahlen werden, ihre Verwertung entweder als Brennstoff unter den Kesseln der alten, unzeitgemäßen Sägewerke oder als Brennstoff für die Papiermassefabriken, wo der Dampf zum Kochen der Masse erforderlich ist, oder auch, wie bei den Ljusnewerken, zur Gewinnung elektrischer Kraft durch Gasmaschinen. Das letztgenannte Verfahren wurde nach eingehenden Versuchen in Ljusne in Zusammenarbeit mit der Gasmotorenfabrik Deutz eingeführt[1]). Diese Fabrik lieferte die beiden Gasmaschinen von zusammen 1100 PS, die jetzt seit 1917 ununterbrochen im Betrieb gewesen sind, mit einem Durchschnittsverbrauch von 2½ kg Sägeabfall von 60 vH Wassergehalt für 1 PSh. Bei der Vergasung der Sägespäne wird auch der Teer gesammelt, der durch Schleudern vom Wasser befreit und darauf zu Pech eingekocht wird. Der Sägeabfall bei den Ljusnewerken (12 000 „Standard" Erzeugung) genügt zum Antrieb von vier Gasmaschinen von 550 PS, und von der erzeugten Kraft werden nur 30 vH für den eigenen Betrieb des Sägewerks gebraucht, während der Rest für andere Zwecke zur Verfügung steht.



Abb. 5. Abnahme von Holzabfällen aus einer schwedischen Sägemühle.

Während der Kriegsjahre, als die Preise für Teer und Teeröl sehr gestiegen waren, waren die Betriebskosten bei dieser Kraftanlage gleich null; umgekehrt lieferten die Nebenerzeugnisse einen Nettogewinn von mehreren „Goldpfennigen" für jede erzeugte Kilowattstunde, so daß der elektrische Strom also selbst die Form eines Nebenerzeugnisses annahm.

Fördervorrichtungen.

Für die Beförderung des gesägten Holzes an die Lagerplätze dienten früher von Menschen geschobene Wagen, von denen jede Planke auf der Schulter auf die Stapel getragen wurde. Jetzt verwendet man elektrische Züge, von denen elektrische Krane die Bretter und Planken abheben. Oder die Förderbahnen werden von Anfang an so hoch angelegt, daß das Holz von ihnen auf die Stapel heruntergefiert werden kann. In beiden Fällen dienen zum Befördern nach dem Kai zur Verschiffung elektrisch angetriebene Rollbahnen. Im letzten Falle wird also der Stamm nur einmal, u. zw. aus dem Wasser bis an die Säge gehoben, und das fertige Erzeugnis sowie der Abfall folgen während des ganzen Veredlungsvorganges dem Gesetz der Schwerkraft. Die neuesten Vertreter der beiden Förderarten sind Skogshall in Värmland und Ljusne im Söderhamnbezirk an der Ostküste Schwedens.

Während des letzten Jahres ist jedoch noch eine dritte Förderart hinzugekommen, die sich — obgleich sehr teuer in der Anlage — als mehr arbeitsparend und wirtschaftlich erwiesen hat als die beiden vorhergehenden, nämlich die Auslegung unmittelbar von der Säge durch Kabelkrane, wie das bei Ströms Bruk der Fall ist, wo zwei Mann genügen, um auf diese Weise die gesamte Erzeugung der vierrahmigen Säge fortzuschaffen.

Bei der Abfuhr von den Lagerplatzkais werden die Planken oder Bretter an den Enden auf volle Fuß oder Dezimeter abgeschnitten — je nach dem Maßsystem des Landes, nach dem sie verschifft werden sollen, — und zwar mittels der auf Schienen laufenden beweglichen und von elektrischen Motoren getriebenen sogenannten Justierungswerke.

Die Gesamtgewinnung Schwedens an gesägtem Holz beläuft sich auf 1,2 Mill. „Standards" oder rd. 5,6 Mill. m³. Dabei ist der nicht ausgenutzte Abfall in neuzeitlichen Werken praktisch gleich null. Das beruht auf der engen Zusammenarbeit mit der Eisenindustrie und ihrer Holzkohlen-Stahlerzeugung. Das schwedische Holz wird hauptsächlich auf dem englischen, französischen, belgischen, holländischen, australischen und südafrikanischen Markte verkauft. Vor den Kriegsjahren war auch Deutschland ein Hauptkäufer schwedischen Holzes. Früher waren die Vereinigten Staaten Amerikas ein starker Wettbewerber auf dem Mittelmeermarkt, aber rücksichtsloser Raubbau in ihren Wäldern hat die Verhältnisse jetzt umgekehrt: Anstatt Holz an Europa verkaufen zu können, steht Amerika vor der Notwendigkeit, selbst seinen Bedarf an Bauholz dort zu kaufen.

Papier und Papiermasse.

Als Ergänzung zu den Sägewerkbetrieben ist die Herstellung von Papiermasse anzusehen und auch in gewissem Umfange die Papierfabrikation. Die Stärke des Fichtenholzes, das unter die Säge kommen soll, wird daher in weitem Maße von der Lage auf dem Papiermassemarkt und dem damit im Zusammenhang stehenden Preis bestimmt, den die Fabriken für Masseholz bezahlen können. Der Stand und die Entwicklung der Holzmasseherstellung liegt aber außerhalb des Rahmens dieser kurzgefaßten Übersicht über die jetzige Ausdehnung und technische Entwicklung der schwedischen Eisen- und Sägewerkindustrie und wird auf S. 345 gesondert behandelt.

Meine Absicht war, zu zeigen, wie die technische Entwicklung der Eisen- und Holzwarenindustrie in Schweden nach dem heutigen Standpunkt eine auf den gemeinsamen Wäldern beruhende Wechselwirkung zwischen beiden bildet, und wie diese beiden Industrien im Vergleich zu denen in andern Teilen der Welt eine Sonderstellung einnehmen. Beurteilt man jetzt zum Schluß die Entwicklungsmöglichkeiten und blickt man voraus in die Zukunft, so müssen eines Tages unsere jetzigen Ölquellen in Amerika, Afrika und Asien leer gepumpt sein, und da für jede Tonne Steinkohlen, die aus der Grube geholt wird, nichts Neues wächst, kann dies zu keinem anderen Schlußsatz führen, als daß, wenn die fossilen Brennstoffe einst ein Ende genommen haben, Schweden mit seinem von der Natur jährlich erneuerten Wald und seinen Wasserkräften noch einmal — auch in qualitativer Hinsicht — den gleichen bedeutenden Rangplatz auf dem Weltmarkt einnehmen wird, den es zu Beginn des verflossenen Jahrhunderts hatte. [A 3]

Leuchtfeuer- und Signalanlagen nach dem AGA-System.

Von Axel Mellin, Ingenieur bei der Sv. A.-B. Gasaccumulator, Stockholm.

Die Svenska Aktiebolaget Gasaccumulator hat durch die praktische Ausnutzung der von dem Nobelpreisnehmer Dr. phil. Gustaf Dalén gemachten Erfindungen ein Beleuchtungssystem ausgebildet, das unter dem Namen „AGA-System" von der ganzen Welt geschätzt wird. Es gründet sich auf die Verwendung von Dissousgas als Leuchtstoff; dieser besteht aus Azetylen, das unter Druck in Aceton gelöst ist und in sogenannten Gasakkumulatoren aufgespeichert wird. — Seine vornehmste Verwendung hat das AGA-System auf dem Gebiete der Leuchtfeuertechnik gefunden, wo es die Schaffung durchaus selbsttätiger unbewachter Leuchtfeuer ermöglicht hat. — Außerdem wird das AGA-System in der Beleuchtungstechnik vielfach verwendet, z. B. für Eisenbahnsignale, Eisenbahnwagenbeleuchtung, Lokomotiv-, Automobil- und Motorradbeleuchtung, zur Beleuchtung von Motorbooten, zur Notbeleuchtung in Operationssälen und Kraftwerken und in den letzten Jahren auch für Landstraßen- und Luftverkehrsignale.

Während der letzten Jahrzehnte hat die Technik auf allen Gebieten bedeutende Fortschritte gezeigt, wobei nicht nur neue Entdeckungen und Erfahrungen der Technik zum Nutzen der Menschheit ins Praktische übertragen, sondern auch bereits bekannte Hilfsmittel Gegenstand einer in wirtschaftlicher und praktischer Beziehung besseren Ausnutzung gewesen sind. Hierbei bildet die Beleuchtungstechnik eines der wichtigsten Gebiete, auf denen die Entwicklung mit Riesenschritten vorwärts gegangen ist, und unter den Industrieunternehmen, die zu dieser Entwicklung stark beigetragen haben, nimmt die Svenska A.-B. Gasaccumulator eine bemerkenswerte Stellung ein. Vor kaum zwei Jahrzehnten hat diese Firma ihre Tätigkeit aufgenommen, die auf den von Dr.-phil. Gustaf Dalén gemachten genialen Erfindungen auf dem Gebiete der Beleuchtungstechnik begründet ist, und die Firma hat durch die praktische Ausnutzung dieser Erfindungen sowie der in den darauffolgenden Jahren von Dr. Dalén gemachten Erfindungen ein Beleuchtungssystem aufgebaut, das unter dem Namen „AGA-System" bekannt ist und in der ganzen Welt geschätzt wird.



Fabrikanlage der Svenska A.-B. Gasaccumulator bei Stockholm.

Die AGA-Beleuchtung verwendet Azetylen als Brennstoff. Wie die Formel C_2H_2 angibt, besteht Azetylen aus 2 Atomen Kohlenstoff und 2 Atomen Wasserstoff, was 92,3 Gewichtsteilen Kohlen und 7,7 Gewichtsteilen Wasserstoff entspricht; es ist somit die kohlenhaltigste aller bekannten gasförmigen Kohlenstoff-Verbindungen. Aus diesem Grund eignet sich das Azetylen ausgezeichnet als Leuchtgas, da die Leuchtfähigkeit eines in offener Flamme verbrennenden Gases vom Kohlengehalt abhängig ist.

Bei gewöhnlicher Temperatur und einem Druck von weniger als 2 at abs ist das Azetylen unexplosiv, d. h. eine in dem Gas

in irgend einer Weise erzeugte Zerteilungswelle vermag sich nicht zu verbreiten. Dieses Verhältnis ändert sich aber bei steigendem Druck, so daß Explosionsgefahr vorliegt, sobald das Azetylen auf einen 2 at abs übersteigenden Druck verdichtet wird. Selbstverständlich bildete dieses Verhältnis ein Hindernis, das Azetylen in größerem Umfang auszunutzen. Die bereits im Jahr 1896 gemachte Erfindung, das Azetylen ohne Gefahr unter Druck in Behältern aufbewahren zu können, indem die Behälter mit einer porösen Masse gefüllt und das Gas in Azeton gelöst wurde, ermöglichte indessen eine ausgedehntere Verwendung dieser wertvollen Lichtquelle.

Da das Azetylen in Azeton gelöst wurde, nannten die Erfinder, Claude und Heß, das in dieser Weise aufgespeicherte Gas „acétylène dissous", woraus die Bezeichnung „Dissousgas" entstanden ist. Das Dissousgas, das die Lichtquelle der AGA-Beleuchtung bildet, wird in Gasakkumulatoren aufgespeichert, die aus sorgfältig hergestellten, mit poröser Masse und Azeton gefüllten Stahlbehältern bestehen, und deren Größe dem Zweck angepaßt ist, dem sie dienen sollen. Die kleinsten Behälter haben 0,75 l, die größten 600 l Inhalt, was bei 10 °C und 15 at Füllungsdruck einem Gasvolumen von 112 und 90 000 l entspricht. Von außerordentlich großer Wichtigkeit für die Betriebsicherheit ist die Beschaffenheit der porösen Masse in diesen Behältern, und die allgemeinen Forderungen, die an die Masse gestellt werden müssen, lauten: einerseits große Porosität im Verein mit außerordentlich guter Widerstandfähigkeit gegen bei Transporten unvermeidliche Schläge und Stöße, anderseits die Fähigkeit, mit Sicherheit die Fortpflanzung einer entstandenen Zersetzung des verdichteten Azetylens zu verhindern. Diese poröse Masse wird mit einer gewissen Menge Azeton getränkt, einer Flüssigkeit, die die wertvolle Eigenschaft hat, ungefähr das 25fache ihres eigenen Volumens an Azetylen bei atmosphärischem Druck und eine entsprechende Menge für jede weitere Atmosphäre Druck aufzunehmen. Da die Behälter zu rd. 40 vH ihres Volumens mit Azeton gefüllt und nunmehr allgemein bis 15 at Druck gefüllt werden, nehmen derart präparierte Gasakkumulatoren nicht weniger als das 150fache ihres eigenen Volumens an Gas auf. Aus diesem Grunde sind die Behälter auch für das Aufbewahren von großen Mengen Azetylen verhältnismäßig klein, was natürlich für das gesamte System von außerordentlich großer Bedeutung ist, weil hierdurch beim Austausch und bei Transporten eine leichte Handhabung erreicht wird.

Der Gasakkumulator ist stets zur Abgabe von Gas bereit, solange noch solches in ihm vorrätig ist. Für die Verwendung des Gases braucht man nur mit einem einfachen Handgriff ein am Behälter befindliches Ventil zu öffnen. Die Bedienung ist also denkbar einfach. Wenn der Behälter leer ist, wird er in eine Gasstation gesandt und gefüllt, wonach er wieder zur Ingebrauchnahme fertig ist.

Das Einfüllen von Azetylen wird in besonders für diesen Zweck errichteten Dissousgasstationen, Abb. 1, vorgenommen, wo sorgfältig gereinigtes und getrocknetes Gas in die Behälter eingepumpt wird. Aus diesem Grunde umfaßt das AGA-System auch Apparate und Maschineneinrichtungen für solche Gasstationen.

Die AGA-Akkumulatoren werden auf den verschiedensten Gebieten praktisch verwendet. Allgemein bekannt ist die erste Ausnutzung von Dissousgas als Lichtquelle für das Signalwesen: zunächst für Leuchtfeuer, bald darauf für Eisenbahnsignale und in den letzten Jahren auch für Landstraßen- und Luftverkehrsignale. Die Akkumulatoren werden mit Vorteil zur Beleuchtung von Eisenbahnwagen, Lokomotiven, Straßenbahn- und Kraftwagen, Motorrädern u. dergl. benutzt. Für das autogene Schweißen und Schneiden von Metallen mittelst der Azetylen-Sauerstofflamme sind die Akkumulatoren unentbehrlich geworden und haben sich für diesen Zweck als äußerst wirtschaftlich zuverlässig und leicht zu handhaben erwiesen.

Die große Menge der technischen Gebiete, auf denen die Erfindungen Dr. Daléns in die Praxis übertragen worden sind, macht es notwendig, hier nur auf das Grundsätzliche einzugehen und die wichtigsten Apparate nur kurz zu beschreiben.

Leuchtfeuerbeleuchtung.

Das AGA-System wurde zuerst für Leuchtfeuerbeleuchtung angewandt, und als die Svenska A.-B. Gasaccumulator im Jahre 1906 ihr erstes selbsttätiges Leuchtfeuer an die schwedische Lotsenbehörde lieferte, zeigte sich, daß Dr. Dalén in ebenso einfacher wie genialer Weise das Problem gelöst hatte, durchaus zuverlässige und vollkommen unbewachte Leuchtfeuer zu schaffen. Hierbei kam zum ersten Male der von Dr. Dalén erfundene AGA-Blinkapparat, Abb. 2, zu praktischer Verwendung. Dies ist ein Gerät zur unterbrochenen Abgabe von Licht; es arbeitet so, daß es selbsttätig die Gaszufuhr abwechselnd schließt und öffnet und somit die Hauptflamme auslöscht und nach einer bestimmten Dunkelperiode wieder entzündet, letzteres mit Hilfe einer kleinen dauernd brennenden Zündflamme. Die für diese Zündflamme erforderliche Gasmenge beträgt nur 10 l in 24 h. Dank der großen Lichtstärke der Azetylenflamme war es möglich, sich verhältnismäßig kurzer Lichtblinke zu bedienen. Dies ist auch praktisch; denn hierdurch wurde eine äußerst große Gasersparnis erzielt, und ein Akkumulator von einer gewissen Kapazität reichte für eine um ein Vielfaches längere Zeit aus als bei dauernd brennender Flamme. Die Kosten für die Beleuchtung wurden ebenfalls auf einen Bruchteil ermäßigt. Um die durch Einführung des AGA-Blinkapparates erzielte Gasersparnis zu veranschaulichen, sei hier folgendes erwähnt: Eine bei Einfachblinkfeuern häufig angewandte Leuchtfolge ist 0,3 s hell und 2,7 s dunkel. Mit dieser Folge wird nur ein Zehntel der Gasmenge verbraucht, die für eine dauernd brennende Flamme erforderlich sein würde. Unter Berücksichtigung des Gasverbrauches für die Zündflamme beträgt die tatsächliche Gasersparnis 80 bis 88 vH.

Die durch Verwendung des AGA-Blinkapparates im Dienste der Leuchtfeuertechnik erreichte bedeutende Gasersparnis wurde durch das von Dr. Dalén im Jahre 1907 erfundene Sonnenventil, Abb. 3, noch weiter getrieben. Das Sonnenventil ist ein Gerät, das aus einer Anordnung von lichtabsorbierenden und lichtreflektierenden Stäben in Verbindung mit einem Gasventil besteht. Die Erfindung beruht darauf, daß Lichtstrahlen den gleichen Einfluß wie Wärmestrahlen auf Körper ausüben, daß



Abb. 1. AGA-Dissousgasstation.

diese sich also infolge der Lichtaufnahme ausdehnen. Die durch die Lichtstrahlen beeinflußten Teile des Sonnenventiles bestehen aus vier Stäben aus gleichem Metall. Einer dieser Stäbe ist mit lichtaufsaugender Fläche versehen, also schwarz, während die Flächen der andern Stäbe lichtrückstrahlend, also blank sind. Wenn nun das Gerät bei Anbruch des Tages den Lichtstrahlen ausgesetzt wird, dehnt sich der schwarze Stab aus und beeinflußt ein Ventil, das die Gaszufuhr zur Hauptflamme schließt und das Leuchtfeuer auslöscht; nur die Zündflamme brennt weiter. Beim Eintreten der Dunkelheit zieht sich der lichtaufnehmende Stab zu gleicher Länge wie die andern Stäbe zusammen, das Ventil wird geöffnet, und das Leuchtfeuer kommt wieder zum Brennen.

Durch Verwendung des Sonnenventils sollte der Gasverbrauch bei den Leuchtfeuern, die das ganze Jahr hindurch in Betrieb sind, um 50 vH ermäßigt werden. Aus Sicherheitsgründen stellt man indessen das Sonnenventil in der Praxis so ein, daß es etwas zu früh öffnet und etwas zu spät schließt, und aus diesem Grund und wegen der Zündflamme beträgt die wirkliche Gasersparnis ungefähr 35 bis 40 vH. Durch Vereinigung des für eine Leuchtdauer von einem Zehntel der gesamten Periode eingestellten Blinkapparates und des Sonnenventiles erreicht man eine Gasersparnis von insgesamt nicht weniger als 93 vH der Gasmenge, die erforderlich wäre, wenn die Flamme dauernd brennen würde.

Die vorstehend beschriebenen AGA-Leuchtfeuerapparate waren für kleinere Leuchtfeuer mit Brennern für offene Flamme bestimmt. Die Entwicklung des AGA-Systemes für Leuchtfeuerleuchtung ist aber andauernd in zwei Richtungen weiter fortgeschritten, wovon die eine die Verbesserung und Vollendung bereits konstruierter Apparate bezweckte, und die andre danach strebte, durch neue Verfahren und Erfindungen auch die größten und lichtstärksten Leuchtfeuer selbsttätig zu gestalten.

Nachstehend ist die Verwendung des AGA-Systemes im Dienste der Leuchtfeuerbeleuchtung kurz beschrieben.

Leuchtfeuer mit fester Linse und offenem Brenner.

Durch mehrere Erfindungen auf diesem Gebiet ist nicht nur die Betriebsicherheit der Apparate vervollkommnet, sondern auch die Möglichkeit gewonnen worden, die Einstellbarkeit der Blinke bedeutend zu erweitern. Das ist von großer Bedeutung, um eine ausreichende Zahl verschiedener Blinkfolgen zu erhalten und hierdurch allen denkbaren Fällen genügen zu können, insbesondere, wenn viele nahe bei einander gelegene Leuchtfeuer aufgestellt werden sollen.

Mit Rücksicht auf die Einstellbarkeit können die Blinkgeräte in folgende vier Klassen eingeteilt werden:

A) Einfach-Blinklichtapparate, deren Mechanismus nur die Abgabe von Einzelblinken gestattet, d. h. gleichlange Lichtblinke, die durch dazwischen eintretende, einander gleich bleibende Dunkelzeiten getrennt werden. Der Blinkapparat arbeitet also in einem Rhythmus, der von zwei, je für sich einstellbaren Zeitabschnitten bestimmt wird.

B) Mehrfach-Blinklichtapparate, deren Mechanismus das Einstellen auf solche Blinkfolgen gestattet, wo zwei oder mehrere, dicht aufeinander folgende Lichtblinke in Gruppen zusammengefaßt werden, die durch eine lange Dunkelzeit getrennt werden. Der Apparat arbeitet also in einem Rhythmus, der von drei je für sich einstellbaren Zeitabschnitten bestimmt wird; hiervon gibt der eine die Länge des Lichtblinkes an und die beiden andern die kurze und die lange Dunkelzeit.



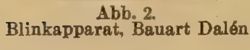


Abb. 2.
Blinkapparat, Bauart Dalén



Abb. 3.
Sonnenventil.

C) Komplex-Blinklichtapparate, deren Mechanismus in der Hauptsache wie der des Mehrfachblinkers arbeitet, so daß ihr Rhythmus von drei Zeitabschnitten bestimmt wird. Es besteht jedoch der Unterschied, daß hier die Länge des Lichtblinkes auf abwechselnd kurze und lange Blinke eingestellt werden kann, während die Dunkelzeiten zwischen den abwechselnd langen und kurzen Lichtblinken gleich lang sind; gleichwohl kann diese Dunkelzeit auf beliebige Länge eingestellt werden.

D) Komplex - Gruppen - Blinklichtapparate. Diese haben einen Mechanismus, der die Einstellung auf eine Blinkfolge gestattet, wo sowohl Lichtblinke wie die dazwischenliegenden Dunkelzeiten verschieden lang gemacht werden können. Der Rhythmus des Feuers wird also von vier Zeitabschnitten bestimmt, die je für sich einstellbar sind. Die Einführung eines solchen Blinkapparates ermöglicht es tatsächlich, daß das Leuchtfeuer bei Abgabe des optischen Signales auch gleichzeitig ein Erkennungssignal in Form einer Nummer zeigt, weshalb ohne Übertreibung gesagt werden kann, daß dieser Apparat eine Epoche auf dem Gebiete der Leuchtfeuertechnik bezeichnet.

Um die Arbeitsweise anschaulicher zu machen, soll nachstehendes Beispiel angeführt werden: Das Leuchtfeuer soll die Erkennungszahl 432 abgeben. In diesem Fall ist die Blinkfolge: 4 kurze, dicht aufeinander folgende Blinke, danach eine lange Dunkelzeit, 3 kurze dicht aufeinander folgende Blinke und eine zweite lange Dunkelzeit, 2 kurze dicht aufeinander folgende Blinke und eine dritte lange Dunkelzeit und schließlich eine lange Lichtzeit, die den Schluß der Gesamtperiode angibt. Wenn erwünscht, kann auch die lange Lichtzeit durch eine besonders lange Dunkelzeit ersetzt werden.

Außer den vorstehend beschriebenen vier Klassen hat noch eine weitere Klasse mit besonderem Einstellmechanismus praktische Verwendung gefunden, nämlich

E) Wechsel-Blinklichtapparate, deren Mechanismus in einer der vorstehend beschriebenen Weisen arbeiten kann, im übrigen aber so eingerichtet ist, daß das vom Blinkapparat ausströmende Gas abwechselnd in zwei oder drei verschiedenen Brennern verbrannt werden kann. Durch Anbringung von farbigen Gläsern in Verbindung mit Linsen von verschiedenen Größen, je nach Durchlaßfähigkeit der farbigen Gläser, kann man ein Leuchtfeuerlicht erhalten, das z. B. abwechselnd weiße, rote und grüne Blinke aussendet.

Leuchtfeuer mit fester Linse und Azetylenglühlicht.

Das AGA-System für Leuchtfeuerbeleuchtung, soweit es jetzt beschrieben ist, bedeutet einen vollständig selbsttätigen Betrieb der Leuchtfeuer, wenn es sich um kleinere Leuchtfeuer handelt. Eine feste Linse mit offener Flamme eignet sich im allgemeinen am besten für Leuchtfeuer mit einer Lichtstärke von 100 bis 1000 HK, obgleich die Anordnung auch mit gewissem Vorteil für Leuchtfeuer bis zu rd. 5000 HK Lichtstärke verwendet werden kann. Für stärkere Leuchtfeuer ist sie aber nicht von gleicher Wirtschaftlichkeit. Hierfür oder auch an Plätzen, wo häufig dichter Nebel herrscht, so daß also lichtstärkere Feuer erforderlich werden, ist deshalb das Azetylenglühlicht benutzt worden.

Im Jahre 1911 wurde von Dr. Dalén ein Gerät zur selbsttätigen Mischung von Azetylen und Luft ausgebildet, um ein Azetylenglühlicht mit hoher Flächenhelle zu erhalten. Das Gerät arbeitet selbsttätig in zwei Richtungen:

1) Es mischt Luft und Azetylen in für die Verbrennung geeignetem Verhältnis;
2) das Mischgas wird in der für die Verbrennungsstelle (dem Brenner) erforderlichen Menge zubereitet.

Durch einfache und wirksame Anordnungen ist es dem Erfinder gelungen, die Explosionsgefahr, die bei der Verbrennung von Mischgas vorhanden ist, zu überwinden. Das Mischgas, welches die Bezeichnung „Daléngas" erhalten hat, verlangt natürlich einen Brenner von besonderer Art. Er ist als sogenannter Invert- oder Hängebrenner mit Glühnetz von ziemlich kleinen Abmessungen und sich daraus ergebender guter Haltbarkeit ausgebildet.

Diese Beleuchtungsart zeichnet sich durch bedeutend bessere Lichtausbeute aus als bei Leuchtfeuern mit offenen Brennern oder mit Azetylenglühlicht der Injektoranordnung erreicht werden kann. Wie bei offenen Brennern, so ist auch hier die Lichtausbeute in gewissem Grade von der Größe des Brenners abhängig, so daß die Lichtausbeute mit größeren Brennern verbessert wird. Die Glühnetze erhalten für die üblichen Brennergrößen eine Flächenhelle von 40 bis 70 HK/cm², was ungefähr 4 bis 6 mal soviel ist als die entsprechenden Werte für offene Azetylenflammen und bedeutend besser als für Azetylenglühlicht mit Injektoranordnung. Obgleich für Leuchtfeuerbeleuchtung eine sehr wirtschaftliche Ausnutzung von Dissousgas möglich war, kam Daléngas jedoch nicht sofort hierfür zur Verwendung, sondern wurde zunächst zur Eisenbahnwagen-Beleuchtung benutzt.

Erst im Jahre 1914 wurde das Daléngas für Leuchtfeuerbeleuchtung in Anspruch genommen, und in rein leuchtfeuertechnischer Beziehung sind die Azetylenglühlichtfeuer jetzt in gleichem Maße wie die AGA-Leuchtfeuer mit offener Flamme entwickelt. Die für diese Beleuchtung erforderlichen Einrichtungen sind aus den Dalén-Blinklicht- und -Mischergeräten zusammengesetzt und werden als Dalén-Blinklichtapparate bezeichnet. Sie sind, vollkommen übereinstimmend mit den beschriebenen Blinklichtgeräten, einstellbar. Damit jedoch das System für Leuchtfeuer ohne Wartung anwendbar wurde, war es notwendig, die Anlage durch ein Gerät für den selbsttätigen Austausch der Glühstrümpfe bei eintretendem Bedarf zu ergänzen. Dieser Apparat, der Glühstrumpfauswechsler, ist imstande, ein Leuchtfeuer mit einem Glühstrumpfvorrat zu versehen, der für ununterbrochenen Betrieb bis zu einem Jahr ausreicht und einen verbrauchten Glühstrumpf, wenn dies erforderlich wird, vollkommen selbsttätig gegen einen neuen auszutauschen.

Es sei noch erwähnt, daß zu einem Azetylenglühlicht-Leuchtfeuer auch ein AGA-Sonnenventil gehört, und hiermit dürfte die Einrichtung in der Hauptsache erklärt sein.

Leuchtfeuer mit umlaufender Linse und Azetylenglühlicht.

Mit fester Linse und Azetylenglühlicht können Lichtstärken von rd. 10 000 bis 15 000 HK erreicht werden. Wenn noch größere Lichtstärken erforderlich sind, muß zu Leuchtfeuern mit umlaufenden Linsen übergegangen werden. Auch auf diesem Gebiete haben die AGA-Konstruktionen die Aufgabe gelöst, selbsttätig arbeitende Leuchtfeuer mit Lichtstärken bis zu 1 Mill. HK zu schaffen. Die Erfindungen Dr. Daléns auf diesem Gebiete zeichnen sich ebenfalls in bezug auf die Konstruktion durch große Originalität und Einfachheit aus.

Hierbei kommen die für umlaufende Leuchtfeuer im allgemeinen angewandten Quecksilberschwimmer wie auch die zum Drehen der Linsenanordnung dienenden Uhrwerke ganz in Wegfall. Ein Leuchtfeuer mit umlaufender Linse nach dem AGA-System besteht hauptsächlich aus folgender Anordnung, Abb. 4:

Der Linsenapparat ruht auf einer Unterlage, die am oberen Ende einer senkrechten Achse fest angebracht ist. Die Achse ist mittels Kugellager in einem Ständer gelagert, auf dem auch der oben beschriebene Dalénmischer angebracht ist. Die Linsen werden dadurch in Drehung versetzt, daß die Membranbewegung des Mischers auf ein Zahnradgetriebe am untern Ende der senkrechten Achse übertragen wird. Der Mischer hat also die Aufgaben, in das Azetylengas Luft in für die Verbrennung geeignetem Verhältnis einzupumpen und als Motor zum Drehen der Linsen zu wirken. Die Drehbewegung der Linse kann durch das Sonnenventil gesteuert werden, so daß bei eintretendem Tageslicht die Drehung der Linse aufhört und die Leuchtfeuerflamme ausgelöscht wird, um nach Eintritt der Dunkelheit selbsttätig wieder in Betrieb zu kommen.



Abb. 4. Leuchtfeuer mit umlaufender Linse.

Es wurde schon erwähnt, daß der Dalénmischer auch das Mischgas in der von der Verbrennungsstelle, dem Brenner, zu bestimmenden Menge zubereitet. Wenn nun durch das Sonnenventil das Mischgas gehindert wird, zum Hauptbrenner zu strömen, erlischt dieser, und der Mischer stellt sich selbsttätig zur Erzeugung von nur so viel Mischgas ein, wie zum Speisen der Zündflamme gebraucht wird. Die Linse, deren Umlaufgeschwindigkeit von der vom Mischer erzeugten Gasmenge abhängt, stellt sich nun auch selbsttätig auf eine der zur Zündflamme strömenden Gasmenge entsprechende Geschwindigkeit ein. Da der Gasverbrauch der Zündflamme sehr gering ist, steht die Linse beinahe still.

Wenn bei Eintritt der Dunkelheit das Sonnenventil das Mischgas wieder zum Hauptbrenner strömen läßt, so entzündet sich letzterer wieder, und die Linse kommt wieder auf seine dem normalen Gasverbrauch entsprechende Umlaufgeschwindigkeit. Die Linsenanordnung kann mit Glühstrumpfauswechsler versehen werden, wodurch man ein vollkommen selbsttätig arbeitendes Leuchtfeuer kräftigster Art erhält.

Leucht- und Schallsignalbojen.

Die AGA-Beleuchtung hat auch zur Sicherstellung der Seefahrt eine ausgedehnte Anwendung bei Leuchtbojen gewonnen, wo die selbsttätige Wirkung, der geringe Gasverbrauch und die große Betriebsicherheit in nicht geringem Maße dazu beigetragen haben, in vielen Fällen diese Seezeichen ausführbar und wirksam zu machen. Durch die Einführung von Blinklicht für Bojen hat es sich indessen als notwendig erwiesen, die Bojen so zu konstruieren, daß sie bei hohem Wellengange nur beschränkte rollende Bewegungen ausführen, damit diese noch innerhalb der senkrechten Streuung des Leuchtfeuerlichtes liegen; sonst würde der Lichtschein dem Seefahrer zeitweise verloren gehen.

Für solche Fahrwasser, wo oft dichter Nebel herrscht, werden die AGA-Bojen häufig mit einem Schallsignalapparat ausgestattet. Wenn keine bestimmten Schallzeichen erforderlich sind, werden die Bojen mit einem Schallerzeuger versehen, der entweder aus einer mit losen Klöppeln versehenen Glocke oder aus einer Pfeife nach der Courtney-Anordnung besteht. Die Betriebskraft für solche Schallgeber liefern die Eigenbewegungen der Boje im Wasser, wobei es jedoch in der Natur der Sache liegt, daß die Schallsignale mehr oder weniger unregelmäßig werden.

Soll dagegen das Schallsignal genau gekennzeichnet und unveränderlich sein, so muß man sich andrer Einrichtungen bedienen. In solchen Fällen werden die Bojen mit einer Glocke und einem selbsttätigen Schlagwerk, das mit verdichteter Kohlensäure getrieben wird, ausgerüstet. Die Kohlensäure wird in Stahlbehältern von ungefähr gleicher Form wie die Gasakkumulatoren aufgespeichert. Das Schlagwerk ist einstellbar und kann zur Abgabe gewisser gewünschter Schallzeichen eingestellt werden. Zur Abgabe von Unterwassersignalen können die AGA-Bojen mit selbsttätig arbeitender Unterwasserglocke versehen werden. Diese kann nach dem gleichen Grundgedanken wie die Überwasserglocke konstruiert und wie diese zur Abgabe bestimmter Schallzeichen eingestellt werden.

Unter den schwimmenden Seezeichen nehmen die

Leuchtfeuerschiffe

eine sehr wichtige Gruppe ein, und auch für diese hat das AGA-System umfangreiche Verwendung gefunden. Die Feuerschiffe sind im allgemeinen mit gewöhnlichen stabilisierten Pendelapparaten ausgerüstet, an denen die Linse angebracht ist. Es läßt sich aber theoretisch nachweisen, daß ein Pendel dieser Konstruktion, wenn es in bedeutender Höhe an Bord angebracht werden soll, niemals dazu gebracht werden kann, bei den Bewegungen des Leuchtschiffes eine senkrechte Stellung einzunehmen; dieses Verhalten ist auch durch die praktischen Erfahrungen vollkommen bestätigt worden. Die Pendelvorrichtungen sind stets ein schwieriges Problem gewesen, und es ist häufig vorgekommen, daß dem Pendel so kräftige Bewegungen erteilt worden sind, daß es notwendig war, es festzubinden, gerade als es am unentbehrlichsten war.

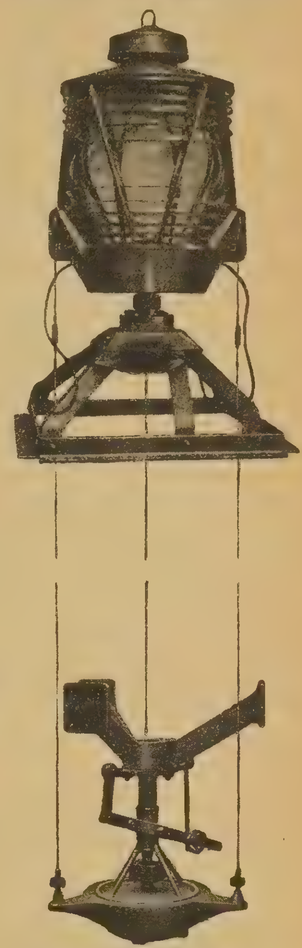


Abb. 5. Pendelanordnung für Feuerschiffe.

Um an Bord eines Feuerschiffes das Blinklicht mit Vorteil verwenden zu können, war es notwendig, die Linsen so an Bord anzuordnen, daß jeder Lichtblink den Horizont erreichen kann. Aus diesem Grunde kamen bei der Konstruktion der AGA-Pendelanordnung für Leuchtschiffe vollkommen neue Grundgedanken zur Anwendung. Die erzielten Ergebnisse haben die theoretisch und praktisch wichtigen Grundlagen der Ausführung erwiesen.

Eine AGA-Pendelanordnung für Feuerschiffe, Abb. 5, besteht aus der in der Leuchtfeuerlaterne kardanisch aufgehängten Linse mit Brenner. Da diese Anordnung in ihrem Schwerpunkt aufgehängt ist, haben alle Kräfte, die die Linse bei den Bewegungen des Schiffes im Wasser beeinflussen, keine andre Wirkung als einen Druck im Aufhängepunkte. Verbunden mit diesem sogenannten Oberpendel ist ein sich im Inneren des Feuerschiffes, genauer im Schlingerzentrum, befindliches andres Pendel, das mit verhältnismäßig großem Stabilitätsmoment und kurzer Pendellänge aufgehängt ist. Dieses Pendel kann, da es im Schlingerzentrum des Feuerschiffes aufgehängt ist, von den Bewegungen des Schiffes nicht beeinflußt werden, sondern befindet sich in Ruhe und ist auch imstande, das Oberpendel durch die drei verbindenden Zugstangen unbeweglich zu halten, so daß das von der Linse ausstrahlende Licht stets wagerecht gerichtet ist. Im Vergleich zu den alten Pendelanordnungen kann bei Verwendung eines AGA-Pendelapparates das Gewicht des Oberpendels um rd. 50 vH vermindert werden. Außerdem kann auch an den Abmessungen und am Gewicht des Laternenhauses bedeutend gespart werden.

AGA-Geräte für den Luftverkehr.

Die starke Entwicklung des Luftverkehrs in den letzten Jahren hat für die hier behandelten Konstruktionen neue Gebiete erschlossen. Der nächtliche Flugverkehr ist nunmehr derart verbreitet, daß dessen Sicherung zuverlässige Signale erfordert, und zwar den Fluglinien entlang sowie an Landungsplätzen.

Zur Deckung des Bedarfs auf diesem Gebiete werden nach AGA-Bauarten sowohl ortbewegliche Leuchtfeuer für Militär-



Abb. 6.
AGA-Leuchtfeuer für den Flugverkehr.



Abb. 7.
Windrichtungszeiger für Flugzeuge.



Abb. 8.
Straßensignal für Kraftfahrzeuge

gebrauch wie auch größere feststehende Leuchtfeuer für dauernd benutzte Handelsfluglinien ausgeführt. Diese Leuchtfeuer stimmen in Konstruktion und Ausrüstung in der Hauptsache mit den Leuchtfeuern für die Schiffahrt überein. Ein Unterschied liegt in der Linsenanordnung, die bei den Leuchtfeuern für den Luftverkehr einen Teil des Lichtes nach oben richtet. Dadurch wird verhindert, daß der Flieger das Licht des Leuchtfeuers verliert, wenn er sich in solcher Höhe und Entfernung von dem Leuchtfeuer befindet, daß er das wagerechte Lichtbündel nicht mehr beobachten kann. Auf der Fluglinie London—Paris ist die englische Strecke seit mehreren Jahren durch AGA-Leuchtfeuer nach Abb. 6 gesichert. In den Vereinigten Staaten ist vor kurzem die Strecke Chicago—Cheyenne auf der Fluglinie New York—San Franzisko mit rd. 300 kleineren Leuchtfeuern versehen worden, die in rd. 5 km Entfernung von einander aufgestellt sind.



Abb. 9. Notbeleuchtung für Elektrizitätswerke.

Außerdem ist in den letzten Jahren ein besonderer Windrichtungszeiger, Abb. 7, ausgebildet worden, der das Landen auf Flugplätzen während der Nacht und auch am Tage sehr erleichtert. Der Apparat besteht aus einer Leuchtfeuerlaterne, deren Linsen die Strahlen von der Lichtquelle auf drei wagerechte weiße Flügel wirft, die drehbar angeordnet sind. Hierdurch erhält der Flieger das von der Luft aus gesehene Bild eines hell leuchtenden „T". Der Flügel, der den Grundstrich im „T" bildet, ist als Steuer ausgebildet, so daß sich der Zeiger mit dem langen Flügel in die Windrichtung einstellt.

Eisenbahn- und andre Signale.

Das AGA-Blinklicht ist infolge seiner bestimmten Kennzeichen sehr leicht von andern Lichtern zu unterscheiden. Diese besonders für Signalzwecke wertvolle Eigenschaft ist von Eisenbahnfachleuten in vielen Ländern für das Eisenbahn-Signalwesen in großem Umfang ausgenutzt worden. Ein weiterer wichtiger Vorteil liegt in der erprobten Betriebsicherheit des Blinklichtes. Schließlich sind die an Arbeitslöhnen und Unterhaltkosten erzielten Ersparnisse so groß, daß die Kosten für die Blinklichteinrichtung in kurzer Zeit abgeschrieben werden können. Der für Eisenbahnsignale zur Verwendung kommende Blinklichtapparat ist ein vereinfachter Leuchtfeuerblinker. Er wird in eine Laterne besonderer Konstruktion eingebaut, die mit Linse versehen ist, wodurch eine gute Lichtwirkung erzielt wird, obwohl die Blinklichtflamme selbst und somit der Gasverbrauch klein ist.

Auf dem Gebiete des Eisenbahnsignalwesens hat sich in letzter Zeit eine starke Bestrebung dahin geltend gemacht, die Unannehmlichkeiten zu vermeiden, die den bisher angewandten Signalen anhaften und darin bestehen, daß die Tagsignalbilder von den Nachtsignalbildern verschieden sind. Mit andern Worten, es wird die Abschaffung der Flügelsignale und der vollkommene Übergang zu Lichtsignalen für Tag- und Nachtsignale gewünscht. Das AGA-Blinklicht eignet sich für solche Tag- und Nachtsignale ausgezeichnet.

Zwei in der Anwendung verschiedene Arten werden benutzt, nämlich ein Vorsignal für Tag- und Nachtsignale und ein Straßenkreuzungssignal. In diesen Signalen ist in der Laterne zwischen Linse und Lichtquelle eine Farbenwechselvorrichtung eingeschaltet, wodurch die Abgabe der gewünschten farbigen Signallichter ermöglicht wird. Der Farbenauswechsler wird gewöhnlich elektrisch gesteuert und zwar übereinstimmend mit den in der Signaltechnik für diesen Zweck gebräuchlichen Anordnungen.

Die Bedeutung der AGA-Konstruktionen für Eisenbahnen beruht jedoch nicht ausschließlich auf der Benutzung des Blinklichtes, sondern auch auf den einfachen und wirtschaftlichen Lösungen, die das System für verschiedene Beleuchtungsaufgaben liefert.

Auch als Hilfsmittel zur Regelung des Kraftwagenverkehrs auf Straßen und offenen Plätzen in Städten und zur Warnung an gefährlichen Stellen auf Landstraßen haben die AGA-Konstruktionen umfangreiche Anwendung gefunden. In den letzten Jahren sind Tausende solcher Landstraßen- und Verkehrssignale besonders in Amerika aufgestellt worden, Abb. 8.

Kraftwagensignale.

Es würde zu weit führen, hier, wenn auch nur flüchtig, die vielseitigen Verwendungen aufzuzählen, die das AGA-System auch auf andern Gebieten der Beleuchtungstechnik gefunden hat, weshalb nur noch einige der wichtigsten Verwendungsgebiete erwähnt werden sollen. Hierbei sei in erster Linie die Anwendung des Dalénlichtes zur Beleuchtung von Eisenbahnwagen, von Wohnhäusern und an Bord von Schiffen genannt. Auch für Motorwagen- und Motorradbeleuchtung bietet es infolge seiner Zuverlässigkeit und leichten Handhabung große Vorteile. Ferner hat das AGA-System als Notbeleuchtung für Operationssäle, Kraftwerke, Abb. 9, usw. Verwendung gefunden, da es bei Unterbrechung des elektrischen Stromes selbsttätig zur Wirkung kommt, und schließlich als Lichtquelle für Scheinwerfer, von Kinematographlampen und verschiedene andre Zwecke. [A 2086]

Die Lebensdauer von Kugellagern.

Von Ingenieur Arvid Palmgren, Gothenburg.

Die Haltbarkeit und Lebensdauer der Kugellager kann weder durch Versuche an gewöhnlichen Materialprüfungsstücken noch durch mathematische Berechnungen einwandfrei festgelegt werden. Hierbei führt lediglich die Prüfung vollständiger Lager zum Ziel. Auf Grund dieser Prüfungen sind Gleichungen aufgestellt worden, nach denen sich die Lebensdauer der Lager bei reiner Radialbelastung, bei zusammengesetzter Belastung, sowie bei zeitweise sich ändernder Belastung bestimmen läßt. Die Lebensdauer eines Kugellagers, das axialen oder zusammengesetzten Belastungen ausgesetzt ist, richtet sich teils nach dem entstehenden größten Kugeldruck, teils nach den Ermüdungserscheinungen, die sich im Vergleich zu den Verhältnissen bei reiner Radialbelastung verändert haben.

Die Bestimmung der Haltbarkeit von Kugel- und Rollenlagern kann als eine der allerwichtigsten Aufgaben der modernen Wälzlagertechnik betrachtet werden. Das Kugellager hat als Maschinenteil eine weitaus verwickeltere Natur als die meisten andern, und man braucht nicht allzu tief in die vorliegenden Fragen einzudringen, um zu der Einsicht zu gelangen, daß bei der Berechnung der erforderlichen und wirtschaftlichen Abmessungen von Kugellagern sehr große Schwierigkeiten auftreten.

Die Belastungsfähigkeit eines Kugellagers ist nicht der Haltbarkeit eines gewöhnlichen Maschinenteils gleichzustellen, der in der Regel ganz einfach so bemessen wird, daß die Materialbeanspruchungen sich innerhalb einer gewissen Grenze halten, die von der Bruch-, Elastizitäts- oder Ermüdungsgrenze des Werkstoffes, die genau bekannt sind, bestimmt wird. Es ist ja möglich, daß bei einem Kugellager eine bestimmte Ermüdungsgrenze vorhanden ist, die in einem bestimmten Verhältnis zu der sogenannten zulässigen Belastung steht, und eine derartige Ermüdungsgrenze kann auch für Kugellager als vorhanden gelten, doch hat die Erfahrung erwiesen, daß sie nicht als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Abmessungen benutzt werden kann. Es berührt eigentümlich, ist jedoch Tatsache, daß man die Ermüdungsgrenze sehr oft überschreiten muß, um wirtschaftliche Kugellagerabmessungen zu erhalten.

Der erste Weg zur Lösung einer derartigen Frage liegt wie stets in der Technik in der theoretischen Berechnung, die sich oft auf Versuchsergebnisse stützt. Bei der Entstehung der Kugellagerindustrie war die von dem deutschen Physiker Hertz[1]) stammende Ableitung zur Berechnung der Formänderungen und Beanspruchungen bei der Berührung gekrümmter Flächen elastischer Körper bereits vorhanden. Diese Ableitung stützt sich auf eine Reihe vereinfachter Voraussetzungen, die z. B. bei der Berechnung der Formänderungen keine genaueren Näherungswerte ergeben. Es ist jedoch kürzlich durch Untersuchungen bei der A.-B. Svenska Kullager-Fabriken (SKF)[2])[3]) sowohl rechnerisch, wie durch Versuche bewiesen worden, daß die Hertzschen Formeln nicht zu einem allgemein anwendbaren Verfahren für die Berechnung der Materialbeanspruchungen sowie der Belastungsfähigkeit und Lebensdauer der Kugel- und Rollenlager führen. Diese Schwäche der Hertzschen Formeln dürfte in der Kugellagerindustrie nicht genug beachtet worden sein, die immer noch geneigt zu sein scheint, sie über ihr Gültigkeitsgebiet hinaus zu verwenden.

Die Notwendigkeit, praktische Versuche auszuführen, wurde bereits von Stribeck[4]) erkannt, der durch seine bekannten verdienstvollen Untersuchungen den ersten Grund für die praktische Kugellagertechnik legte. Man ist jedoch erst in den letzten Jahren zu einer näheren Einsicht darin gelangt, daß zwischen der Belastung und der Lebensdauer ein Zusammenhang besteht. H. Gärtner[5]) hat einige Ergebnisse seiner Untersuchungen über den fraglichen Zusammenhang veröffentlicht, doch versuchte er nicht, ein bestimmtes Gesetz für diesen Zusammenhang aufzustellen. Die ihm zur Verfügung stehenden Ergebnisse waren sicherlich der Anzahl nach allzu gering und ungleichmäßig, daß hiervon ein derartiges Gesetz abgeleitet werden konnte. Später hat F. Symanzik[6]) ein hauptsächlich zeichnerisches Verfahren für die Berechnung der Belastungsfähigkeit eines Kugellagers vorgeschlagen. Leider gibt er die Grundlage, auf die sich seine Regeln stützen, nicht an, und die behandelte Gesetzmäßigkeit ist auch nicht rechnerisch festgelegt, weshalb man bei Anwendung der von ihm veröffentlichten Berechnungsverfahren z. B. nicht beurteilen kann, wie sich die Lebensdauer eines bestimmten Lagers mit der Belastung verändert.

Auf Grund der außerordentlichen Bedeutung der Frage für die Kugellagertechnik sind innerhalb der SKF umfassende Untersuchungen vorgenommen worden, um das Gesetz zu finden, auf Grund dessen sich die Lebensdauer mit der Belastung, der Umlaufgeschwindigkeit, den Lagerabmessungen usw. verändert. Es stand hierbei nur ein einziges Verfahren zur Verfügung: die Prüfung vollständiger Lager. Es ist nicht zulässig, lediglich theoretische Berechnungen anzuwenden, da die wirklichen Beanspruchungen in einem Lager mit mathematischen Mitteln nicht bestimmt werden können. Auch können gewöhnliche Ermüdungsprüfungen des Materials nicht unmittelbar hierfür gebraucht werden, da die Verhältnisse, die mit der Ermüdung eines Kugellagers im Zusammenhang stehen, von den Ermüdungserscheinungen bei einem gewöhnlichen Prüfstück bedeutend abweichen.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse und praktischen Erfahrungen sind somit die einzigen Unterlagen zur Aufstellung eines Berechnungsverfahrens. Nach diesem gilt es somit

- Funktionen für die Lebensdauer der Lager bei reiner Radialbelastung,
- Regeln für die Umrechnung axialer und gleichzeitig wirkender axialer und radialer Belastungen auf rein radiale aufzustellen,
- die Wirkung verschiedener sich zeitweise ändernder Belastungen zu berechnen.

Reine Radialbelastung. Die Begrenzung der Lebensdauer ist im großen gesehen eine Ermüdungserscheinung, doch kommen bei ausnahmsweise hohen Belastungen auch andre Umstände dazu, wie bleibende Formänderungen, ausgesprochene Brüche und dergl. Das Aufstellen einer vollkommen richtigen Funktion für die Lebensdauer erfordert daher eine außerordentlich große Anzahl Prüfungen bei verschiedenartigen Belastungen, Geschwindigkeiten, Lagerabmessungen usw. Leider muß gesagt werden, daß die vorliegenden Versuchsergebnisse lediglich die Aufstellung einer Formel mit begrenzter Gültigkeit zulassen, weshalb man innerhalb der unsicheren Gebiete Annahmen machen muß, die auf Grund rein praktischer Erfahrungen als berechtigt angesehen werden können.

Wenn man annimmt, daß der Werkstoff eine gewisse Ermüdungsgrenze hat, d. h. daß er bei und unterhalb einer gewissen niedrigen Beanspruchung eine unbegrenzte Anzahl wiederholter Beanspruchungen aushalten kann, so bedeutet dies, daß die Lebensdauerkurve eine Asymptote ist. Da der Werkstoff ferner eine Elastizitäts- bzw. eine Bruchgrenze hat, muß die Kurve eine endliche Beanspruchung ergeben, auch wenn nur eine einzige Beanspruchung auftritt, d. h. wenn die Anzahl der Schwankungen gleich null ist. Nimmt man ferner an, daß die Kurve nach einer Exponentialfunktion verläuft, so würde die allgemeine Gleichung für den Zusammenhang zwischen Belastung und Anzahl Beanspruchungsschwankungen vor der Ermüdung lauten:

$$k = C\,(a\,n + e)^{x} + u \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

worin bedeutet:

k die spezifische Belastung,
C eine Materialkonstante,
a die Anzahl Beanspruchungen in dem am meisten angestrengten Punkt innerhalb des Lagers bei einer Umdrehung,
n Anzahl der Umdrehungen in Mill.,
e eine Materialkonstante, die von der Lage der Elastizitäts- bzw. Bruchgrenze abhängt,
u die Ermüdungsgrenze,
x ein gewisser Exponent mit negativem Wert.

Diese allgemeine Gleichung für die gesuchten Funktionen dürfte die einfachste sein, die die gestellten Anforderungen erfüllt und auch zu vollkommen anwendbaren Ergebnissen führt. Die Konstanten können für hohe und mittelbare Belastungen ziemlich genau bestimmt werden, doch werden sie bei sehr niedrigen Belastungen notwendigerweise unsicher, da praktische Umstände

[1]) Hertz: Über die Berührung elastischer Körper, Gesammelte Werke Bd. 1, Leipzig 1895.
[2]) Palmgren und Sundberg, Untersuchungen über die Belastungsfähigkeit von Kugellagern (Spörsmal rörande kullagrens belastningsförmaga) Teknisk Tidskrift, Mekanik, Bd. 49 (1919) Heft 4.
[3]) Palmgren, Note on theoretical and practical methode of calculating the carrying capacity of ball bearings, Proceedings of the Institution of Automobile Engineers, London 1923.
[4]) Stribeck, Kugellager für beliebige Belastungen, Z. Bd. 45 (1901) S. 73 u. f. Vergl. a. Bd. 45 S. 1421 und Bd. 46 (1902) S. 1341 u. f.
[5]) Gärtner, Über Lebensdauer von Kugellagern, Dinglers Polytechnisches Journal Bd. 99 (1918) Heft 5.
[6]) Symanzik, Die Belastung der Kugellager, „Der Betrieb“, Bd. 3 (1921) Heft 18.

die Prüfungen innerhalb des letztgenannten Gebietes erschweren. Die Zahlen für die Lebensdauer werden nämlich bei den niedrigen Belastungen so hoch, daß die erforderliche Anzahl Prüfungen mit den vorhandenen Prüfungsmaschinen innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit nicht vorgenommen werden konnte.

Die spezifische Belastung hat sich zunächst als eine Funktion der Lagerbelastung und der Lagerabmessungen erwiesen. Ob sie auch eine Funktion der Umdrehungsgeschwindigkeit ist, ist nicht vollkommen klargestellt, doch muß in praktischen Fällen eine erhöhte Umdrehungsgeschwindigkeit Vibrationen und Trägheitskräfte der umlaufenden Maschinenteile entstehen lassen, wodurch die wirkliche Lagerbelastung erhöht wird. Ob und in welchem Maße man diese Belastungserhöhung unmittelbar bei der Berechnung der spezifischen Belastung mit in Rechnung stellen oder mittelbar durch Erhöhung des dynamischen Zuschusses bei der Berechnung der wirkenden Kräfte berücksichtigen muß, darüber läßt sich streiten. Bei der Bestimmung der Funktion für die spezifische Belastung geht man jedoch am zweckmäßigsten von der von Stribeck aufgestellten Gleichung

$$k = \frac{5\,Q}{Z\,d^2} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

aus, worin

Q die gesamte radiale Lagerbelastung,
Z die Kugelzahl im Lager und
d den Kugeldurchmesser bedeutet.

Die Konstante k erfordert jedoch eine gewisse Berichtigung, da die Lagerabmessungen und wahrscheinlich auch die Geschwindigkeit auf eine andre Weise einwirken, als Gl. (2) angibt. Die berichtigte Konstante, die im Nachstehenden mit k_1 bezeichnet wird, ergibt eine gute Übereinstimmung mit den Prüfungen, wenn sie wie folgt gesetzt wird:

$$k_i = k\,(1 + 0{,}0001\,v)\,(1 + 0{,}007\,d^2)\ \text{kg}/(1/8'')^2 \quad \ldots \quad (3)$$

worin

k Stribecks Konstante in kg/(⅛″)^2,
v die Umdrehungsgeschwindigkeit in Uml./min,
d den Kugeldurchmesser in ⅛″ bezeichnet.

Die Bestimmung der in Gl. (1) enthaltenen Materialkonstante e kann auf Grund von besonderen Prüfungen vorgenommen werden, die hinsichtlich bleibender Formänderungen ausgeführt worden sind und ergeben haben, daß die spezifische Belastung für sphärische Lager nicht größer als rd. 40 kg/(⅛″)^2 und für Rillenkugellager ohne Einfüllöffnung und mit großer Anschmiegung nicht größer als 70 kg/(⅛″)^2 sein darf. Die Konstante C ist auf Grund von sehr vielen Probeläufen bei verschiedenen Belastungen bestimmt worden. Die Bestimmung dieser Konstante ist jedoch auf Grund der Verschiedenheit in der Lebensdauer, welche die unter gleichen Verhältnissen geprüften verschiedenen Ausführungen der gleichen Lagerbauart ergaben, mit gewissen Schwierigkeiten verbunden. Es ist daher notwendig festzustellen, ob man einen Ausdruck für die kleinste, die größte oder eine zwischen diesen Grenzen liegende Lebensdauer wünscht. Es leuchtet ein, daß es in der Praxis sehr unwirtschaftlich wäre, alle Lager so zu bemessen, daß auch diejenigen mit unbedingt geringer Lebensdauer genügend stark werden. Um ein gutes wirtschaftliches Ergebnis zu erhalten, muß man damit rechnen, daß eine gewisse kleinere Anzahl Lager eine kürzere Lebensdauer als die berechnete hat, weshalb die Konstanten so zu wählen sind, daß rd. 90 vH aller Lager eine längere Lebensdauer haben als die Formel angibt. Diese Berechnungsweise muß sowohl in technischer, wie in wirtschaftlicher Hinsicht als vollkommen befriedigend angesehen werden, wenn man berücksichtigt, daß die mittlere Lebensdauer bedeutend höher ist als die berechnete und diejenigen Lager, die eine kürzere Lebensdauer haben, eigentlich oft nur eine Ausbesserung durch Austausch des zuerst beschädigten Teiles erfordern.

Auf größere Schwierigkeiten, als die oben angedeuteten, stößt man bei der Bestimmung der Ermüdungsgrenze; ob diese einen so großen Wert hat, daß sie einen ausschlaggebenden Einfluß auf die niedrige spezifische Belastung ausübt, oder ob sie ganz außer Betracht gelassen werden kann, konnte bisher noch nicht ermittelt werden, da man innerhalb des ganzen Prüfgebietes mit beiden Annahmen eine Übereinstimmung erreichen kann, wenn man den übrigen Konstanten, besonders dem Exponenten x, geeignete Werte gibt.

Dieser Exponent x liegt in jedem Fall in der Nähe von ⅓ oder 0,3. Der Wert nähert sich — ⅓, wenn die Ermüdungsgrenze so hoch ist, daß sie nicht außer Acht gelassen werden kann, und — 0,3, wenn sie sehr niedrig ist. Eine gute Übereinstimmung mit den Prüfungen ergab sich, wenn man für doppelreihige sphärische SKF-Kugellager

$$k_i = \frac{70}{\sqrt[3]{a\,n} + 5} + 2 \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

und für einreihige SKF-Rillenkugellager ohne Einfüllöffnung

$$k_i = \frac{120}{\sqrt[3]{a\,n} + 5} + 4 \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

setzt.

Diese Gleichungen setzen gewisse Ermüdungsgrenzen voraus, was sich auf mehrjährige Erfahrungen des praktischen Betriebes stützt, die zu bestätigen scheinen, daß die Ermüdungsgrenze zu berücksichtigen ist. Die in den Formeln enthaltenen Materialkonstanten müssen sich natürlich auf ein bestimmtes Material beziehen, weshalb die Gültigkeit der Formeln sich auf die angegebenen Lagerbauarten der SKF beschränkt. Prüfungen, die mit Lagern aus verschiedenem Werkstoff vorgenommen sind, haben natürlich ergeben, daß die Güte des Werkstoffes einen sehr großen Einfluß auf die Lebensdauer hat.

Zur Berechnung der Anzahl der Belastungen in dem am meisten angestrengten Punkt muß zunächst die Lage dieses Punktes bekannt sein. Nach den gewonnenen Erfahrungen liegt dieser Punkt bei sphärischen Kugellagern in der Laufbahn des nicht umlaufenden Ringes und bei Rillenkugellagern in der Laufbahn des Innenringes. Hierbei besteht jedoch die Voraussetzung, daß die Kugeln, wie dies bei den SKF-Lagern der Fall ist, von allerhöchster Güte sind. Falls dies nicht der Fall ist, stellen die Kugeln das schwächste Element dar und machen jede Berechnung der Anzahl der Beanspruchungen in einem Punkt unmöglich. Beim Rollen einer Kugel über einen Punkt der Laufbahn wird das Material der Laufbahn zwei Höchstbeanspruchungen ausgesetzt, da die größte Materialbeanspruchung an der Kante der Druckfläche auftritt. Durch einfache Berechnungen der Bewegung der Kugeln in verschiedenen Fällen erhält man die folgenden Ausdrücke für a:

Für sphärische Kugellager mit umlaufendem Innenring

$$a = \frac{2\,Z_1}{1 + \frac{r_y}{r_i}} \quad \ldots \ldots \quad (6),$$

worin Z_1 die Kugelanzahl in einer Kugelreihe

r_y, r_i den Halbmesser der Berührungsfläche der Kugel mit dem Außenring, Innenring

bedeutet. Für sphärische und Rillenkugellager mit umlaufendem Außenring

$$a = \frac{2\,Z_1}{1 + \frac{r_i}{r_y}} \quad \ldots \ldots \quad (7).$$

Für Rillenkugellager mit umlaufendem Innenring

$$a = \frac{Z_1}{1 + \frac{r_i}{r_y}} \quad \ldots \ldots \quad (8)$$

Bei axialen oder gleichzeitig wirkenden axialen und radialen Belastungen auf die Lager verändern sich die Ermüdungsverhältnisse etwas. Bei Rillenkugellagern mit umlaufendem Innenring wächst die Anzahl der Beanspruchungen mit der Wirkung der Belastung in axialer Richtung. Da alle diese Beanspruchungen jedoch erst bei reiner Axialbelastung ein Höchstmaß erreichen und die Einwirkung in den Regeln, die für die Umrechnung von axialen Belastungen zu radialen aufgestellt worden sind, zum Ausdruck kommt, kann die verwickelte Schätzung der Anzahl höchster Beanspruchungen in diesem Fall wegfallen.

Die Lebensdauer eines Kugellagers, das axialen oder zusammengesetzten Belastungen ausgesetzt ist, richtet sich teils nach dem entstehenden größten Kugeldruck, teils nach den Ermüdungserscheinungen, die sich im Vergleich zu den Verhältnissen unter reiner Radialbelastung verändert haben.

Über die Veränderung des Kugeldruckes liegen unmittelbare Messungen an den verschiedenen Lagerbauarten vor[1]. Es dürfte nicht möglich sein, einen genauen und gleichzeitig einfachen analytischen Ausdruck für den Kugeldruck als eine Funktion von Radial- und Axialdruck zu finden, doch ist dies auch kaum notwendig. Durch Anwendung der sehr einfachen Gleichung

$$Q = R + y\,A \quad \ldots \ldots \quad (9)$$

erhält man hinreichend genaue Ergebnisse. Hierin bezeichnet

---

[1] s. Palmgren und Sundberg, Teknisk Tidskrift, Mekanik, Bd. 49 (1919) Heft 4, und Palmgren, Load-carrying capacity of the single-row groovetype ball bearing, Journal of the Society of Automotive Engineers, New York, Oktober 1920.

Q die gedachte rein radiale Belastung, die die gleiche Lebensdauer ergibt wie die gleichzeitig wirkenden Radial- und Axialkräfte,
R die vorhandene Radialbelastung,
A die vorhandene Axialbelastung,
y einen Beiwert.

Bei doppelreihigen sphärischen Lagern ist y eine Funktion des sogenannten Druckwinkels α, d. h. des Winkels zwischen der Druckrichtung durch eine Kugel und der radialen Mittelebene des Lagers. In Übereinstimmung mit den Prüfergebnissen liefert die Funktion

$$y = \frac{1}{2 \sin \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

ein vollkommen befriedigendes Ergebnis. Für Lager mit gewöhnlicher Breite ist $y = 3$ bis 4 und für breite Lager $= 2$ bis 3.

Bei Rillenkugellagern ist die Umrechnung der Axialkräfte wesentlich schwieriger, da man es hier nicht mit einem gleichbleibenden Druckwinkel zu tun hat, sondern sich dieser mit der Belastung verändert. Durch Berechnung der Veränderung des Kugeldruckes unter Berücksichtigung der elastischen Formänderungen und bei der nötigen Beachtung der mit den verschiedenen Einwirkungen von Radial- und Axialdruck veränderten Ermüdungsfälle konnten die folgenden Zahlenreihen für Rillenkugellager ohne Einfüllöffnung und mit starker Anschmiegung aufgestellt werden, deren y-Werte durch die Prüfungen bestätigt worden sind:

k in kg/(1/8″)²	4 bis 8,	8 bis 16,	16 bis 32,	32 bis 64
y	1,5,	1,2,	1,	0,9.

Veränderliche Belastungen. Bei praktischem Betrieb mit Kugellagern kommt es vor, daß zu verschiedenen Zeiten die Belastung verschieden groß ist, die Geschwindigkeit sich verändert, oder daß die Belastung einer periodischen Schwankung unterworfen ist. Es ist sehr schwer, die Lebensdauer eines Lagers unter derartigen Verhältnissen zu berechnen, da in dieser Hinsicht noch keine ausreichenden Untersuchungen ausgeführt worden sind. Gärtner[1]) scheint anzunehmen, daß man mit einer Mittelbelastung rechnen kann, die durch eine Addition der Produkte der Belastung und der Anzahl Umdrehungen während der verschiedenen Zeitspannen und einer Division der Summe durch die gesamte Anzahl Umdrehungen erhalten wird. Eine derartige Annahme ist jedoch falsch, da die Lebensdauer, wie oben bewiesen, keine Funktion ersten Grades der Belastung ist.

Als Näherungswert für die Berechnung wäre die Annahme denkbar, daß, falls ein Lager bei einer gleichbleibenden Belastung mit einer bestimmten Umdrehungszahl eine Lebensdauer von n Mill. Umdrehungen haben wird, $\frac{m}{n}$ von seiner Haltbarkeit verbraucht ist. Wird das Lager während m_1 Mill. Umdrehungen einer Belastung ausgesetzt, bei der es eine Lebensdauer von n_1 Mill. Umdrehungen hat und während m_2 Mill. Umdrehungen einer andern Belastung, bei der es eine Lebensdauer von n_2 Mill. Umdrehungen erreicht usw., so wird

$$\frac{m_1}{n_1} + \frac{m_2}{n_2} + \frac{m_3}{n_3} + \cdots\cdots = 1 \quad \ldots\ldots \quad (11).$$

Bei periodisch wechselnder Belastung ergibt sich eine bequeme Formel, wenn man die Anzahl Perioden p einführt und m die Bedeutung von Mill. Umdrehungen innerhalb einer einzigen Periode gibt. Man erhält dann:

$$p\left(\frac{m_1}{n_1} + \frac{m_2}{n_2} + \frac{m_3}{n_3} + \cdots\cdots\right) = 1 \quad \ldots\ldots \quad (12),$$

wobei n nach wie vor die gesamte Lebensdauer in Millionen Umdrehungen bei der betreffenden Belastung und Geschwindigkeit bezeichnet.

Nachdem man nun über eine weitaus bessere Kenntnis über den Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Belastung und den übrigen Umständen verfügt als früher und auch imstande ist, diesen Zusammenhang in einfacher mathematischer Form auszudrücken, hat man ein bedeutend besseres Mittel für eine sichere und gleichzeitig wirtschaftliche Bestimmung der Lagerabmessungen erhalten, als die früher bekannten Verfahren ermöglichten. Daß dies der Fall ist, hat sich in besonders hohem Grad innerhalb der Gebiete gezeigt, wo Wälzlager nicht zur Anwendung gekommen waren und unmittelbare Erfahrungen somit nicht vorliegen. [A 2099]

[1]) a. a. O.

Schwedische Wärmewirtschaft.

Von Holger A. Lundberg, Ingenieur, Stockholm.

An der Hand zweier einfacher Zahlentafeln über die Brennstoffversorgung und den Brennstoffverbrauch Schwedens wird ein Überblick gegeben über die wichtigsten neuzeitlichen Bestrebungen in der schwedischen Wärmewirtschaft, Arbeiten, die zum Teil von bahnbrechender Bedeutung sind.

Die Brennstoffwirtschaft in Schweden wird dadurch gekennzeichnet, daß Schweden reich an Wasserkräften ist, dagegen nur sehr kleine Steinkohlenschätze aufweist. Die Folge davon ist, daß fast alle ortfesten Kraftanlagen durch Fernleitungen von den Wasserkraftzentralen elektrisch betrieben werden. Die weitaus größte Menge der Brennstoffe wird also zur Erwärmung und nicht zur Krafterzeugung verbraucht.

Die Brennstoffversorgung Schwedens im Jahre 1916, einem ziemlich normalen Jahr, ist aus Zahlentafel 1 ersichtlich. Beinahe die Hälfte der Brennstoffmenge wird eingeführt, und diese Hälfte umfaßt den weitaus größten Teil der fossilen Brennstoffe: Steinkohle, Anthrazit und Koks, und außerdem alle flüssigen Brennstoffe, deren Menge freilich nicht bedeutend ist, aber die im neuzeitlichen Verkehr eine außerordentlich große Rolle spielen.

Zahlentafel 1. Verbrauch von verschiedenen Brennstoffen, in Steinkohlen von 6300 kcal/kg umgerechnet.

Eingeführte Brennstoffe	
fossile (Steinkohle, Anthrazit, Koks)	5,75 Mill. t
flüssige	0,07 „ „
Leuchtgas (aus eingeführten Brennstoffen hergestellt)	0,12 „ „
Eingeführt zusammen	5,94 Mill. t
Einheimische Brennstoffe	
Steinkohle	0,41 „ „
Torf	0,10 „ „
Holzkohle	0,74 „ „
Brennholz	5,15 „ „
Einheimische zusammen	6,40 Mill. t
Gesamtverbrauch	12,34 Mill. t

Die andre Hälfte des Brennstoffverbrauches wird hauptsächlich durch Brennholz für die Haushaltungen und Holzkohle für die schwedische Qualitätseisenindustrie gedeckt.

Diese Brennstoffmengen verteilen sich in großen Zügen nach

Zahlentafel 2. Verteilung des Brennstoffbedarfes, in Steinkohlen umgerechnet.

Industrie.	
Dampfkessel: Holz	0,88 Mill. t
andere Brennstoffe	1,90 „ „
Öfen: Holz und Holzkohle	0,92 „ „
andere	1,14 „ „
Zusammen	4,84 Mill. t
Verkehr.	
Eisenbahnen	1,30 „ „
Schiffahrt	1,23 „ „
Zusammen	2,53 Mill. t
Hausbrand.	
Holz	3,62 „ „
andere	1,35 „ „
Zusammen	4,97 Mill. t
Gesamtverbrauch	12,34 Mill. t

Die größte dampfverbrauchende Industrie Schwedens ist die Zellstoff- und Papierindustrie mit einem Brennstoffverbrauch von beinahe 1 Mill. t. Die Eisenindustrie, wozu auch die Maschinenfabriken und Gießereien gerechnet werden, verbraucht bedeutende Mengen Brennstoff für ihre Gasgeneratoren und Öfen, und zwar rd. 1,5 Mill. t. Es ist also erklärlich, daß die wärmewirtschaftlichen Bestrebungen besonders auf diese beiden großen Industriezweige eingerichtet sind.

In der Zellstoff- und Papierindustrie strebt man besonders danach, die **Abfallstoffe** als Brennstoff zu verwerten, z. B. die Rinde des Holzes, das Sägemehl, die Abfallauge der Zellstoffabriken u. a. In diesen Fabriken ist das Endziel, das doch lange noch nicht erreicht wird, die ganze Anlage in wärmewirtschaftlicher Hinsicht sich selbst speisen zu lassen, wobei natürlicherweise auch die Krafterzeugung im Gegendruckbetrieb eine nicht unwesentliche Rolle spielt. Auch die wichtige Frage der Kondenswasserableiter, die ja die Gesamtmenge des erzeugten Dampfes bewältigen sollen, ist von den leitenden Männern dieser Industrien beachtet worden. Die wärmewirtschaftlichen Arbeiten der beratenden Ingenieure und der Dampfkesselvereine sind besonders zu erwähnen. Die Akademie der Ingenieurwissenschaften in Stockholm hat durch Untersuchungen über die in Schweden üblichen Halbgasfeuerungen für Holzabfälle die Arbeitsverhältnisse dieser Öfen geklärt.

In der Eisenindustrie ist ein reges Interesse für elektrische Öfen, besonders für Hochöfen und Glühöfen zu vermerken. In den Siemens-Martin-Öfen, Stoß- und Schmiedeöfen legen die außerordentlich hohen Anforderungen an die Güte des Eisens der Wärmewirtschaft Hindernisse in den Weg. Durch die von der Akademie der Ingenieurwissenschaften durch Hallbäck ausgeführten Untersuchungen an Stoß- und Schmiedeöfen, worüber in den Mitteilungen der Wärmestelle Düsseldorf berichtet worden ist[1]), sind doch einige Ersparnismöglichkeiten nachgewiesen worden.

Wie oben gesagt, kommen jetzt **ortfeste Dampfkraftanlagen** in Schweden hauptsächlich nur im Gegendruckbetrieb und als Aushilfsanlagen der Wasserkraftwerke bei Wassermangel und bei Betriebsunterbrechungen der Fernleitungen in Frage. Gegendruckmaschinen und mittelgroße Kondensationsturbinen kommen zur Verwendung. Für die Brennstoffwirtschaft ist als Beispiel zu erwähnen, daß das Stockholmer Elektrizitätswerk Värtan im Jahre 1914 bei 13 000 kW Höchstbelastung und 2000 bis 2500 h Ausnutzungsdauer einen Kohlenverbrauch von 1,1 kg/kWh hatte, wobei Kohlen von 6000 kcal/kg verfeuert wurden.

Nachdem die kleinen vereinzelten Kraftanlagen zum größten Teil verschwunden sind, ist jetzt die **Elektrifizierung der Eisenbahnen** in Angriff genommen. Die nördlichste Eisenbahn der Welt, Luleå-Narvik, ist schon mit sehr gutem Erfolge in Betrieb[2]), die Arbeiten auf der Eisenbahnstrecke Stockholm-Gothenburg sind vor kurzem in Gang gekommen.

Ein wichtiger Faktor in der Brennstoffwirtschaft Schwedens ist der Verbrauch an Brennstoffen für den **Haushalt**. Es ist hier besonders die große Holzverschwendung, die in die Augen fällt. Die Akademie der Ingenieurwissenschaften widmet dieser Frage ihre besondere Aufmerksamkeit, macht Untersuchungen über die in Schweden üblichen ortbeweglichen Kochherde und Zimmeröfen, und sucht durch Vorträge, kleine Druckschriften, Ausstellungen usw. die große Masse des Volkes zu wirtschaftlichem Verfeuern und Verwenden der Brennstoffe zu erziehen. Auch ist zu erwähnen, daß die wärmetechnischen Abteilungen des Sozialamtes und der Königl. Eisenbahndirektion die meisten staatlichen Gebäude einer sorgfältigen Kontrolle des Wärmeverbrauches unterziehen.

Die rein **wissenschaftlichen** Arbeiten auf dem Gebiete der Brennstoffe haben das Ziel, die einheimischen Brennstoffe zu untersuchen und ihre Ausnutzung zu heben. Die von der Akademie der Ingenieurwissenschaften unterstützten Untersuchungen von Odén über Torf und von Holmberg über Ölschiefer seien hier nur erwähnt. Bemerkenswert ist eine von den Ingenieuren Bergh und Larsson gebaute Anlage für **Öldestillation aus Schiefer**, die verschiedene wichtige wärmetechnische Einzelheiten aufweist.

Die **erfinderische** Tätigkeit im Gebiete der Wärmewirtschaft ist in Schweden in Anbetracht der Größe des Landes sehr rege. Ich erinnere hier an den Dampfturbinenkonstrukteur Gustaf de Laval, dessen Namen mit der Lavaldüse verknüpft ist, dessen Bild nebst dem von Parsons in Stodolas Werk „Die Dampfturbinen" seinen Platz hat und dem der Verein deutscher Ingenieure 1904 die Grashofdenkmünze verliehen hat. Die von ihm gegründete Turbinenfabrik besteht noch und zeichnet sich durch ihren großen Anteil an den Fortschritten des Dampfturbinenbaues aus. Sie hat die erste in Schweden von Dr.-Ing. Ruths seinerzeit entworfene Turbine mit **zwei Anzapfungen** konstruiert und gebaut. Diese Turbine war für eine Zellstoffabrik vorgesehen; sie arbeitete mit einem Anfangsdruck von 13 at abs, einem ersten Anzapfdruck von 6 at abs für Kochzwecke und einem zweiten Anzapfdruck von 2,3 at abs für Trockenzwecke. Die schwierige Regelungsfrage wurde anstandslos gelöst. Auch Schiffsturbinen werden hier gebaut (vergl. S. 327).

Auf eine Erhöhung der gewinnbaren Gegendruckkraftmenge zielt die Konstruktion des **Atmoskessels** von Ingenieur Blomqvist hin. Ein Versuchskessel für 60 at in Verbindung mit einer de Laval-Turbine für 50 at ist schon seit zwei Jahren, ein zweiter Kessel mit Überhitzer und Speisewasservorwärmer für 100 at seit einigen Monaten in Betrieb. Die eigenartige Konstruktion ist auch in dieser Zeitschrift mehrfach behandelt worden[3]). Der Kessel besteht aus einer Anzahl Röhren, die mit einer solchen Geschwindigkeit umlaufen, daß der Wasserraum sich am Umfang der Röhre bildet und die Mitte der Röhre als Dampfraum freiläßt. Die selbsttätige Speisung ist sehr sinnreich angeordnet. Die Dichtungen für Speisewassereinlauf und den Dampfauslaß halten vollkommen dicht.

Die beiden Brüder Ljungström üben auch eine umfangreiche Erfindertätigkeit aus. An der gegenläufigen Ljungström-Turbine, die später auch sehr geschickt als Schiffsturbine mit Wechselgetriebe ausgebildet worden ist, darf hier nur erinnert werden[4]). Der Ljungström-Luftvorwärmer[5]) ist als eine Art Regenerator gebaut, wobei der Regenerator, aus dünnen Eisenblechen zusammengebaut, umläuft und dabei die vorhandenen Wärmemengen vom Abgasraum zu dem Luftkanal überführt. Bei dieser Bauart kann eine große Heizfläche in sehr kleinem Gehäuse untergebracht werden. Die Reinigung durch Dampfstrahl oder Luft ist einwandfrei. Der Luftvorwärmer hat seine Bedeutung besonders für Schiffskessel sowie für die Zellstoff-, Papier- und Zuckerfabriken und dgl. in Schweden, wo heißes Kondensat zum Speisen zur Verfügung steht. Die Kondensations- und Turbolokomotive von Ljungström mit Wechselgetriebe, die mit Lufterhitzung und Speisewasservorwärmung durch den Abdampf der Hilfsmaschinen ausgerüstet ist[6]), hat bei Probefahrten auf den schwedischen Staatseisenbahnen eine Kohlenersparnis von rd. 50 vH aufgewiesen.

Einige Anlagen für Eindickung von Sulfitablauge mit der Wärmepumpe[7]) sind in Betrieb. Es handelt sich hier darum, die bedeutenden Brennstoffmengen (ungefähr die Hälfte der Trockensubstanz des Holzes), die in der Ablauge enthalten sind, nutzbar zu machen. Besonders bei Betrieb der Anlage mit Wasserkraft erscheint das Verfahren wirtschaftlich möglich.

Eine Beschreibung des **Ruths-Speichers**[8]) erübrigt sich hier. Die Anwendung dieser Speicher gründet sich auf der Anschauung, daß ein regelmäßiger Fabrikbetrieb nicht von der Zuführung von Heizdampf (und Kraft) abhängig sein darf. Diese Hilfsmittel müssen gerade so wie das Trinkwasser für die städtische Bevölkerung stets in genügender Menge in jedem Augenblick zur Hand sein. Bei den ausgeführten Anlagen ist eine nicht unbeträchtliche Brennstoffersparnis und auch eine Produktionserhöhung statistisch nachgewiesen worden.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß die elektrische Heizung[9]) für gewisse Zwecke auch in Schweden Eingang gefunden hat. Es ist insbesondere Überschußkraft, die für Heizung von Dampfkesseln, Wohnräumen und Kirchen verwendet wird. Aber sie wird auch in solchen Fällen benutzt, z. B. bei Glühöfen der Eisen- und Metallindustrie und bei Bäckereiöfen, wo der Wirkungsgrad der elektrischen Heizung den der unmittelbaren Brennstoffheizung weit übersteigt, und wo außerdem eine gleichmäßigere Erzeugung und eine Ersparnis an menschlicher Arbeit gewonnen wird.

Überhaupt muß gesagt werden, daß die Brennstoffragen in Schweden von vielen Ingenieuren mit großem Interesse und großen Kenntnissen angegriffen werden. Es ist auch ersichtlich, daß die Wärmetechnik, ein Zweig der Technik, der noch lange nicht durchgearbeitet werden konnte, von diesen schwedischen Bestrebungen in den letzten Jahrzehnten kräftig gefördert worden ist. [A 2136]

---

[1]) Mitteilungen der Wärmestelle Düsseldorf Nr. 46 (1923) S. 6 u. f.
[2]) Vergl. Z. Bd. 6 (1920) S. 181 u. f. und Bd. 68 (1924) S. 72.
[3]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 633, Bd. 68 (1924) S. 139.
[4]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 744.
[5]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 973.
[6]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 1060.
[7]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 160.
[8]) s. Z. Bd. 66 (1922) S. 509 u. f.
[9]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 617.

Die Entwicklung der schwedischen Holzschliff-, Zellstoff- und Papierindustrien.

Von Oberingenieur Fr. Grewin, Norrköping.

Die ältere Papierherstellung — Die neuere Entwicklung unter Schwedens Beteiligung — Die gebräuchlichen Fabrikationsverfahren — Fortschritte in der schwedischen Papierindustrie: Forschungen, Entrindung von Holz, Schleifen von Holz, Verbesserung in der Zelluloseherstellung, Wiedergewinnung von Nebenprodukten, Entwässerung, Wärmewirtschaft, Lüftung und Ruthspeicher — Produktion der schwedischen Holzstoff-, Zellulose- und Papierindustrie.

In dem zur Verfügung stehenden, beschränkten Raum ist es nicht möglich, annähernd und noch weniger erschöpfend, dieses umfassende Thema zu behandeln. Ich muß mich daher darauf beschränken, einige Stichproben von dem, was die schwedische Ingenieurkunst im Laufe der letzten Jahre in der Holzstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie geleistet hat, zu geben und mit einigen Zahlen die Entwicklung dieser Industrien zu veranschaulichen zu suchen.

Die ältere Papierherstellung.

Die Papierindustrie Schwedens stammt nicht aus jüngster Zeit. Während in Deutschland die Kenntnis der Fabrikation des Papiers schon im 14ten Jahrhundert verbreitet wurde, kam sie erst im 16ten Jahrhundert nach Schweden. Die erste schwedische Papierfabrik soll im Jahre 1520 von Bischof Brask gegründet worden sein.

Die Technik der Papierfabrikation war vom 14ten bis zum 18ten Jahrhundert im großen ganzen unverändert. Der Rohstoff bestand aus Lumpen, die in kleineren wassergetriebenen Mühlen bearbeitet wurden, wo sie in Stampfwerken zerfasert, durch Schöpfen geformt, gepreßt und an der Luft getrocknet wurden. Das Papier, das zu Schreibzwecken verwendet werden sollte, wurde nachher in eine Lösung von animalischem Leim getaucht, und schließlich wurde die Fläche mit der Hand durch Reiben mittels eines Glättsteines oder durch Hämmern geglättet.

Schon in der Mitte des 18ten Jahrhunderts wurde von dem Deutschen J. C. Schaeffer nachgewiesen, daß Papierstoff unmittelbar aus Pflanzenfasern hergestellt werden könnte. Gleichzeitig oder sogar früher als Schaeffer hatte bei Östanå Bruk in der Provinz Hälsingland in Schweden der Faktor H. Stakel Papier aus Sägespänen und Laubblättern hergestellt. Die Akten der schwedischen Wissenschaftsakademie bezeichnen dieses Papier als „ganz verwendbar", aber das Verfahren führte doch nicht zu irgendeinem praktischen Ergebnis.

Die ersten bedeutenderen technischen Verbesserungen in der Papierfabrikation wurden von den Holländern gemacht, die um 1670 einen neuen Apparat für die Verarbeitung des Rohstoffes einführten, den sogenannten „Holländer", und das holländische Papier wurde danach eine Zeitlang für das beste gehalten. Den nächsten großen Fortschritt bezeichnet die Papiermaschine, die von dem Franzosen L. Robert im Jahre 1799 erfunden wurde; aber sie konnte erst als ganz gelungen angesehen werden, nachdem sie von den beiden Brüdern, den Engländern Fourdrinier, im Jahre 1804 vervollkommnet worden war. Weitere Verbesserungen der Papiermaschine sind später von den Engländern John Gamble und Bryan Denkin ausgeführt worden.

Die ersten Holländer in Schweden wurden im Jahre 1760 in der Tumba-Papierfabrik aufgestellt, und die erste Papiermaschine wurde im Jahre 1832 in der Papierfabrik Klippan in Betrieb gesetzt. Diese Papierfabrik ist die älteste der jetzt in Betrieb stehenden schwedischen Papierfabriken; sie wurde im Jahre 1573 gegründet und konnte vor kurzem ihr 350jähriges Jubiläum feiern. Im Jahre 1835 oder 1836 wurde noch eine Papiermaschine bei Holmens Bruk in Norrköping aufgestellt und ungefähr gleichzeitig je eine Maschine in Grycksbo und in Lessebo.

Der nächste Fortschritt in der Papierfabrikation war die mechanische Herstellung von Holzschliff. Diese Erfindung wurde von einem deutschen Textilarbeiter F. G. Keller im Jahre 1840 gemacht; sie wurde durch den Deutschen Voelter 1844 vervollkommnet und kam zur praktischen Verwendung im Jahre 1856. Es war ja natürlich, daß für das an Wäldern und Wasserkraft reiche Schweden diese Erfindung recht bald von großer Bedeutung werden würde. So wurde z. B. im Jahre 1868 eine Holzschleiferei bei Holmens Bruk in Norrköping eingerichtet.

Die neuere Entwicklung unter Schwedens Beteiligung.

Bis zur Einführung der Holzschleiferei, etwa um die Mitte des 19ten Jahrhunderts, hatte die schwedische Papierfabrikation den größten Teil ihrer technischen Neuheiten und Erfahrungen aus dem Auslande geholt. Aber seitdem wurden verschiedene Erfindungen, und davon einige ganz epochemachende, in Schweden selbst gemacht.

Die Güte des geschliffenen Holzes war nicht derartig, daß es für jede Art von Papier hätte verwendet werden können; aus diesem Grunde konnte es daher auch nicht gänzlich die Lumpenfasern ersetzen. Zwar war es in einigen Ländern gelungen, Pflanzenfasern höherer Güte durch chemische Behandlung von Stroh und Gras herzustellen, aber der größte und bedeutendste Schritt für den Ersatz der Lumpenfasern wurde durch die Erfindung des aus Nadelhölzern hergestellten sogenannten Zellstoffes gemacht.

Von diesem chemisch bearbeiteten Stoffe kommen zwei Hauptgattungen vor: auf alkalischem und auf saurem Wege hergestellter Zellstoff. Die ersten Versuche, Holz unter hohem Druck mit Natronlauge zu kochen, datieren aus dem Jahre 1853, wo sich der Engländer Watt und der Amerikaner Burgers diese patentieren ließen. Ihr Verfahren kam jedoch nicht über Laboratoriumversuche hinaus und erzielte kein praktisches Ergebnis, während sich inzwischen die Holzschleiferei allmählich zur Großindustrie entwickelt hatte. Das alkalische Zellstoffkochen wurde in Nordamerika zuerst 1860 und in Europa um 1870 praktisch verwendet. Jetzt fingen die Schweden an, als Bahnbrecher in dieser Industrie hervorzutreten. Der Ingenieur Alvar Müntzing, einer der Pioniere der schwedischen Papier- und Zellstoffindustrie, dessen Name von allen schwedischen Fachleuten geachtet und geehrt wird, war der erste, der Lauge, aus Natriumsulfat hergestellt, zum Kochen von Holz anwendete, obschon der Deutsche C. F. Dahl im Jahre 1879 dieses Verfahren praktisch durchführte. Müntzing war es auch, dem es nach mehrjährigen Versuchen 1885 in Munksjö gelang, den sogenannten Kraftstoff, woraus das weltberühmte schwedische Kraftpapier angefertigt wird, herzustellen.

Der Ingenieur C. D. Ekman war der erste, dem es praktisch gelang, Sulfitzellstoff herzustellen, und zwar 1873 in Bergvik in der Provinz Hälsingland. Ekman verbesserte seine Erfindung beständig, so daß der Zellstoff schon im Jahre 1874 auf den Markt gelangen konnte und schon von vornherein berechtigtes Aufsehen erregte. Gleichzeitig mit dem Erscheinen des Ekmanschen Sulfitzellstoffes wurde von dem deutschen Professor A. Mitscherlich ein englisches Patent auf Kochen von Holz mit saurem Kalziumsulfit und etwas Salzsäure angemeldet. Sein deutsches Patent wurde später erteilt und begründete die deutsche Sulfitzellstoffindustrie, aber das Patent wurde in Deutschland und Österreich aufgehoben. Es waren aber Mitscherlich und Ekman, die diese bedeutungsvolle Industrie gründeten. Ein andrer Schwede, der sich um die Erforschung des Zellstoffes in rein chemisch-wissenschaftlichen Beziehungen sehr verdient gemacht hat, ist der Professor Peter Klason, dessen Name ebenfalls Weltruf erlangt hat.

Die gebräuchlichen Fabrikationsverfahren.

Bevor ich zu einer näheren Schilderung der Fortschritte neuerer Zeit in den hier behandelten Industrien übergehe, ist es wohl am Platz, etwas über die Fabrikationsverfahren zu erwähnen, damit die folgende Darstellung leichter verständlich wird.

Der Rohstoff für den Holzstoff und den Zellstoff besteht hauptsächlich aus Nadelhölzern. Für Holzschliff und Sulfitzellstoff wird Fichte, für Sulfatzellstoff werden Fichte und Kiefer verwendet. Laut den frühesten Mitteilungen in Fachschriften sind Verfahren zur Herstellung von Sulfitzellstoff auch für Kiefer ausgearbeitet worden.

Der Holzschliff wird in der Weise hergestellt, daß Holz unter Bewässerung gegen einen umlaufenden Schleifstein gedrückt wird, wobei die Fasern des Holzes auf mechanischem Wege gelöst werden. Dieses Verfahren muß als eine besonders rohe Bearbeitung des Holzes betrachtet werden; der Kraftverbrauch ist sehr groß und schwankt zwischen 1350 und 1700 kWh für 1000 kg lufttrockenen Stoffes.

Die Ausbeute des Holzes kann zu 100 vH angenommen werden, da ja alle im Holz enthaltenen Einschlüsse unverändert in den Zellstoff übergehen. Holzschliff wird in großem Umfange hergestellt, da er den Hauptbestandteil des gewöhnlichen Zeitungspapiers ausmacht.

Im Gegensatz zu der mechanischen Herstellung von Holzstoff stehen, wie erwähnt, die chemischen Verfahren,

wobei die eingeschlossenen Bestandteile des Holzes von einer Kochflüssigkeit ausgelöst und entfernt werden, wobei also die Fasern freigemacht werden. Bei dem alkalischen Verfahren wird als Rohstoff Soda oder Natriumsulfat benutzt, wovon die Bezeichnungen Sodazellstoff und Sulfatzellstoff herstammen. Bei dem sauren Verfahren besteht die Kochsäure aus Kalziumbisulfit mit Kalkstein und Schwefel oder Schwefelkies als Rohstoff. Der Gewinn von Fasern bei den chemischen Verfahren macht nur ungefähr 45 vH aus.

Der Kraftverbrauch bei der Herstellung von chemischem Stoff ist verhältnismäßig niedrig, rd. 110 bis 140 kWh für 1000 kg lufttrockenen Stoffes. Der Holzverbrauch wird dagegen verhältnismäßig groß, und zwar etwas mehr als doppelt so groß wie bei der Herstellung von Holzschliff.

Mehrere Papiersorten werden aus verschiedenen Arten von Fasern und Mischungen von solchen zusammengesetzt. Für einige Papiersorten muß der Zellstoff gebleicht werden. Zeitungspapier besteht z. B. aus 70 bis 75 vH Holzschliff und 30 bis 25 vH ungebleichtem starkem Sulfitzellstoff. Packpapier wird aus ungebleichtem Sulfatzellstoff gemacht, Schreibpapier aus gebleichtem Sulfit- oder Sulfatzellstoff oder aus beiden zusammen.

Der Kraftaufwand bei der Papierfabrikation ändert sich mit der Güte des Papieres; so werden z. B. für bessere Papiersorten bis zu 450 kWh/t und für Zeitungspapier, das am leichtesten herzustellen ist, 300 bis 350 kWh gebraucht.

Bei der Herstellung des Halbfabrikates, des Holz- oder des Zellstoffes, wie auch bei der Fabrikation des Papieres selbst ist es kennzeichnend, daß man in verschiedenen Fabrikationsstufen große Mengen Wasser zusetzt, die man während anderer Phasen der Fabrikation wieder entfernt. Das Wasser wird aus dem Stoff zum Teil auf mechanischem Wege durch Pressen entfernt, teils mittels Wärme durch Trocknen, wobei bedeutende Wärmemengen verbraucht werden. So beträgt z. B. der Verbrauch von Wärme beim Kochen von Sulfatstoff 2,9 kg, für Sulfit 2,1 kg Dampf für 1 t lufttrockenen Stoffes. Zum Trocknen von Stoff braucht man 2 kg und zum Trocknen von Papier 3,5 bis 4,5 kg Dampf, alles für 1 t lufttrockener Ware. Die größten Kosten der Fabrikation entfallen daher, außer auf den Verbrauch von Rohstoffen, wobei das Holz von größter Bedeutung ist, und Kraft auf den Verbrauch von Wärme.

Fortschritte in der schwedischen Papierindustrie.

Die neueren Forschungen und Bestrebungen der Ingenieure haben sich darauf gerichtet, die Zusammensetzung und Güte der verschiedenen Rohstoffe zu studieren, den Verbrauch durch geeignete Wiedergewinnungsverfahren und andere Fabrikationsverbesserungen sowie den Kraft- und Wärmeverbrauch zu vermindern und schließlich aber nicht von geringerer Bedeutung, die Arbeitskosten, die einen wesentlichen Teil der Herstellungskosten ausmachen, herabzusetzen. Außerdem hat man selbstverständlich der Verbesserung der Güte des Fertigwie auch des Halbfabrikates die größte Sorgfalt gewidmet.

In den letzten Jahren sind die von Prof. P. Klason ausgeführten wertvollen grundlegenden Untersuchungen zur Erforschung von Zusammensetzung und Eignung des Papierholzes fortgesetzt worden. Ich möchte dabei auf die folgenden verdienstvollen Arbeiten verweisen:

Die Mitteilungen von Dr. H. E. Wahlberg[1]) über die Beschaffenheit der Materialien, deren Behandlung für die Analyse, über Analysen des Volumgewichtes des Holzes, Fett- und Harzgehalt, sowie über ein Verfahren zur Zellstoffbestimmung.

Die Untersuchungen von Dr. Astrid Cleve von Euler[2]) über die Größe und Veränderungen des Ligningehaltes der schwedischen Kiefer und Fichte.

Abhandlung des Lektors der Forsthochschule, Oberförsters Gunno Kimman[3]), über die Qualitätsforderungen an das Papierholz und das Anpassen der Maßregeln in der Waldpflege daran.

Die Behandlung des Holzes vor der Verarbeitung zum Halbfabrikat ist von größter Bedeutung, und eine der schwierigsten Arbeiten dabei ist die Entfernung der Rinde, die für die Stoffabrikation unbrauchbar ist. Dies geschieht entweder im Walde unmittelbar nach dem Fällen des Holzes oder in der Fabrik. Die Aufgaben, die bei dem Entrinden des Holzes entstehen, sind schwierig, und viele haben sich auf deren Lösung versucht. Recht lange wurde das Holz mit der Hand entrindet, aber als die Papierindustrie zur Großindustrie wurde, erreichte der Holzverbrauch einen solchen Umfang, daß die Handentrindung aufgegeben werden mußte. Verschiedene Entrindungsmaschinen wurden ausgebildet. Der Grundgedanke bei ihnen ist, daß Messer als Hobeleisen an einer umlaufenden Scheibe angebracht werden, gegen die die Hölzer, in kurze Längen geschnitten, mit der Hand geführt und gedreht werden. Auch dies Verfahren mußte bei gesteigertem Verbrauch aufgegeben werden, und jetzt entstanden Konstruktionen für selbsttätige Führung der Kloben.

Bei allen Schälmaschinen ist es jedoch nicht möglich, die Rinde vollständig zu entfernen, ohne daß etwas von dem brauchbaren Holz gleichzeitig mit fortgeschnitten wird. Dieser Umstand veranlaßte einige Konstrukteure, das Entrinden in großen umlaufenden Trommeln vorzunehmen, worin Kloben von etwa Meterlänge eingeführt wurden und die Rinde durch Reibung unter gleichzeitiger Wasserbegießung entfernt wird. Auf diese Weise werden der Holzverlust und die Arbeitskosten des Schälens zwar vermindert, aber verschiedene andre Übelstände sind anstatt dessen entstanden, welche Verluste bei der Fabrikation mit sich bringen.

Es scheint, als ob man jetzt in Schweden nunmehr die Verwendung von Entrindungstrommeln aufgegeben hat. Anstatt dessen hat man Schälmaschinen konstruiert, die mit sehr niedrigem Holzverlust arbeiten und gleichzeitig besonders leistungsfähig sind. Die Arbeitskosten sind bei diesen Maschinen daher sehr niedrig und können ungefähr mit den Kosten beim Trommelschälen verglichen werden.

Gute Maschinen, die die obenerwähnten Forderungen erfüllen, sind unter anderm von Ingenieur William Waern konstruiert worden, dessen Bauart später von der Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Verkstad vervollkommnet worden ist, und weiter von Ingenieur P. Albert Fresk. Mit diesen neuen Maschinen hat man eine Leistungsfähigkeit von 18 bis 20 Raummeter in 1 h erreicht, und der Holzverlust hat sich bei gut gehandhabten Maschinen bis auf 3 bis 4 vH herunterbringen lassen[4]).

Auf dem Gebiet der Schleiferei sind in den letzten Jahren keine nennenswerten selbständigen Neuheiten in Schweden erschienen. Erwähnt sei jedoch, daß bei einigen schwedischen Fabriken die neuen amerikanischen Verfahren für das Schleifen, Sortieren des Stoffes, Schärfen der Schleifsteine anstatt der früher allgemein gebrauchten deutschen Verfahren zur Verwendung gekommen sind. Weiter hat man nach amerikanischem Muster eine wirksame Kontrolle nicht nur über die Güte des Stoffes, sondern auch über diejenigen Faktoren, die auf den Kraftverbrauch usw. einwirken können, eingeführt, um hierdurch die Fabrikationskosten zu vermindern.

In den alkalischen Kochprozessen hat man in Schweden verschiedene Fortschritte gemacht. Die Wiedergewinnung von Chemikalien aus der verbrauchten Kochlauge und die Ausnutzung des Heizwertes der eingeschlossenen Bestandteile des Holzes waren während der ersten Zeit dieser Kochmethode nicht sehr vollkommen. Folglich wurde das Fabrikat teuer, und der Sulfitzellstoff drohte, es vom Markte zu verdrängen. Verbesserungen auf diesem Gebiete sind von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der alkalischen Kochprozesse gewesen.

Die Wiedergewinnung geschieht durch Eindicken der Lauge bis zur Trockenheit und Glühen, wobei die verseiften Einschlüsse aus dem Holz verbrennen und die Wärme erzeugen, die für die Prozesse erforderlich ist. Auf diese Weise kann aber nicht das ganze verbrauchte Alkali wiedergewonnen werden. Durch Undichtigkeit und sonstigen Abgang während des Vorganges sowie auch beim Glühen geht ein Teil verloren, und dieser Verlust muß ersetzt werden. Die Aufmerksamkeit der schwedischen Ingenieure wurde frühzeitig auf die Verbesserung der Wiedergewinnverfahren gerichtet. Auf diesem Gebiet ist eine verdienstvolle Arbeit von dem oben erwähnten Ingenieur Müntzing geleistet worden. Er hat das bei dem Waschen des Zellstoffes nunmehr allgemein gebräuchliche Diffusionsprinzip eingeführt. Um das Eindicken der Kochlauge haben sich C. F. Enderlein, J. V. Ekman und C. P. Carlson durch Vervollkommnung von Apparatekonstruktionen sehr verdient gemacht; daneben sind in letzter Zeit neue und verbesserte Konstrustionen von Sixten Sandberg und Gunnar Sundblad ausgeführt worden.

Verfahren zum Gewinnen von Terpentin und Methylalkohol aus der verbrauchten Kochlauge sind von R. Fagerlind und Hilding Bergström ausgearbeitet worden.

---

[1]) „Svensk Papperstidning" 1922 Nr. 1 bis 4.
[2]) Mitteilungen des wissenschaftlichen Laboratoriums der Skogshallwerke vom März 1923, veröffentlicht in der Skogsvardsföreningens Tidskrift 1923 Heft 3 und 4.
[3]) Skogsvardsföreningens Tidskrift 1923 Heft 7 und 8.
[4]) Vergl. den Aufsatz des Verfassers in Svensk Papperstidning 1923 Nr. 8.

Die Natronzellulose-Industrie scheint indessen in allerletzter Zeit einer neuen Entwicklung entgegenzugehen durch die Bestrebungen von Dr. E. L. Rinmans, Zellstoff mit schwefelfreier Lauge zu kochen und aus deren Ablauge bei Wiedergewinnung des Natrons verschiedene wertvolle Nebenerzeugnisse wie Methylalkohol, Azeton, Methyläthylketon sowie leichtere und schwerere Öle herzustellen. Diese Nebenerzeugnisse sind leicht zu reinigen, da sie schwefelfrei gewonnen werden, und ein weiterer Vorteil ist Nichtvorhandensein von schlechten Gerüchen bei dieser Fabrikation. Die Gewinnung dieser Nebenerzeugnisse verteuert die Fabrikation nicht, sondern ihr Verkaufswert kann als reiner Verdienst betrachtet werden.

Seit der bahnbrechenden Arbeit von C. D. Ekman im Jahre 1873 in der Sulfitzellstoff-Herstellung in Bergvik wurden die Fabrikationsverfahren von Ingenieur C. W. Flodquist geändert; er konstruierte umlaufende Kocher und verbesserte die Apparate zur Herstellung der Kochsäure. Außerdem haben Viktor Flodin und die Brüder Magnus und Nils Hansson sowie Arthus Stålnacke auf die Vervollkommnung der Sulfitmethoden gewirkt. Diese sind zwar dem ursprünglichen Verfahren gefolgt, haben aber durch die Einführung von neuen verbesserten Apparaten und Arbeitverfahren die betreffenden Industrien zur heutigen Vollendung gebracht.

Ein recht ausgedehntes Feld für die schwedischen Chemiker ist die Gewinnung von Nebenerzeugnissen bei der Zellstoffindustrie. Wenn man bedenkt, daß beim Kochen des Holzes ungefähr die Hälfte seines Gewichtes aufgelöst und als Verlust mit der Ablauge abgeht, und wenn wir weiter mit einer jährlichen Zellstofferzeugung in Schweden von rd. 1 Mill. t rechnen, so bedeutet dies, daß mit der Ablauge jährlich ungefähr 1 Mill. t organischer Stoff verloren geht. Bei der Herstellung von einer Tonne trockenem Zellstoff erhält man ungefähr 10 m³ Lauge. Jährlich entstehen also in den schwedischen Sulfitzellstoff-Fabriken 10 Mill. m³ Abfallauge. Der Gehalt der Lauge an ungelöstem Stoff ist mit Rücksicht auf die verschiedenen Kochverfahren etwas veränderlich, aber durchschnittlich enthält sie in Trockensubstanz gerechnet:

gärbaren Zucker	16 vH
nicht gärbaren Zucker	9 „
andre Bestandteile	75 „

10 Mill. m³ Ablauge enthalten also eine bedeutende Menge gärbaren Zucker, woraus Alkohol gewonnen werden könnte. Die Ablauge ließ man jedoch lange Zeit in die Gewässer abfließen, wodurch diese verunreinigt wurden und der Fischfang Schaden erlitt. Schon seit 1887 ist daher auf die Ausnutzung der Ablauge hingearbeitet worden. Die Versuche waren lange vergebens, bis es den Ingenieuren G. Ekström und Hugo Wallin technisch sowie wirtschaftlich unabhängig voneinander gelang, Alkohol aus gärbarem Zuckerstoff der Ablauge herzustellen. Die erste fabrikmäßig betriebene Alkoholfabrikation dieser Art begann im Jahre 1909 in der der Stora Koppabergs Bergslags Aktiebolag gehörenden Skutskärs Sulfitfabrik. Im gleichen Jahre wurde auch mit einer ähnlichen Fabrikation in Köpmanholmen begonnen.

Die Sulfitablauge kann entweder unmittelbar oder nachdem der Alkohol daraus hergestellt worden ist durch Eindicken als Brennstoff nutzbar gemacht werden. In der letzten Zeit sind Anlagen, wo durch Eindampfen mittels der sogenannten Wärmepumpe die brennbaren Bestandteile ausgenützt wurden, ausgeführt worden. Ein andres Verfahren zu demselben Zweck ist von Ingenieur R. W. Strehlenert erfunden worden; hierbei wird die brennbare Kohle als ein feines Pulver niedergeschlagen. Der Dozent Erik Öman hat ein andres Verfahren vorgeschlagen, das in der Sulfitfabrik in Gryckebo versucht worden ist. Bei diesem Verfahren wird die Lauge durch Frieren konzentriert, wobei reines Eis, das die nicht organischen Substanzen enthält, ausgeschieden wird. Auf diese Weise kann eine Lauge mit ungefähr 42 vH Trockensubstanz erhalten werden.

Wenn einmal diese verschiedenen Wiedergewinnungsverfahren ganz durchgeführt worden sind, wird man erreicht haben, daß die Sulfitzellulose-Industrie, die früher ein Brennstoff verschwendendes Gewerbe war, dahin umgestaltet wird, daß sie sich nicht allein vom ausländischen Brennstoff unabhängig macht, sondern sich selbst mit Brennstoffen versorgt. Es ist nicht ganz ausgeschlossen, daß diese Industrie sogar Brennstoff als Überschuß zum Verkauf gewinnen könnte.

Wie gesagt, werden während gewisser Phasen in der Fabrikation den Stoffen große Mengen Wasser zugeführt, die später wieder — meistens durch Pressen — entfernt werden können. Eine Neuheit auf diesem Gebiet ist die von der Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Verkstad konstruierte Hochdruckpresse. Diese Maschine ist sehr leistungsfähig, indem sie 10 bis 13 t getrockneten Stoff auf 1 m Arbeitsbreite liefert, und entwässert gut, da rd. 50 vH lufttrockener Stoff erreicht wird. Dieses Ergebnis läßt sich durch die Einführung von geriffelten, sogenannten Hochdruckpressen im Gegensatz zu den alten Preßmaschinen mit glatten Preßwalzen unter verhältnismäßig niedrigem Druck erzielen.

Im Gebiet der eigentlichen Papierfabrikation hat man in den letzten Jahren in Schweden seine Aufmerksamkeit hauptsächlich der Lösung derjenigen Aufgaben gewidmet, die im größten Maß auf die Herstellungskosten des Papiers einwirken. Hierbei steht in erster Linie die Wärmewirtschaft. Dieses Problem findet sich übrigens auch beim Trocknen des Zellstoffes. Schweden hat gleich andern Ländern eine Zeit großer Brennstoffknappheit durchgemacht, und die Ingenieure des Landes haben sich daher auf Sparsamkeit auf diesem besonderen Gebiet einrichten müssen. Da die schwedische Papier- und Zellstoffindustrie ungefähr 900 000 t Steinkohlen im Jahre verheizt, entsprechend 17 vH der ganzen Kohleneinfuhr des Landes, waren diese Bestrebungen selbstverständlich eine sehr dankbare Aufgabe für die schwedischen Wärmetechniker. Die Wärme, die die schwedische Papierindustrie verbraucht, wird hauptsächlich zum Trocknen des Papiers verwendet. Zur Krafterzeugung wird Wärme nur in geringem Maße gebraucht, etwa nur soviel, daß die Wasserkraft zu Zeiten niedrigen Wasserstandes ersetzt wird.

In die Pappen- und die Papiermaschine kommt der Papierbrei in sehr verdünntem Zustand; das Wasser wird zuerst auf einem endlosen umlaufenden Metalltuch, dem sogenannten Sieb, danach durch Pressen und schließlich durch Trocknen entfernt. Für eine Zeitungspapiermaschine z. B. beträgt die Feuchtigkeit am Ende der Siebpartie rd. 85 vH, nach der letzten Presse rd. 70 vH und nach dem Trocknen 8 vH. Die größte Wassermenge wird durch Abrinnen und Pressen und nur ein kleinerer Teil durch Trocknen entfernt. Aber trotzdem sind es bedeutende Wassermengen, die durch Trocknen entfernt werden müssen. Zahlreiche und schwierige Aufgaben sind hierbei zu lösen.

Die Pappen- und die Papierbahn wird dadurch getrocknet, daß sie über eine oder mehrere gußeiserne Zylinder läuft. Diese Zylinder werden durch Dampf erwärmt, wobei durch die Zapfen Dampf eingelassen und das Niederschlagwasser entfernt wird. Diese Entfernung des Niederschlages sowie der vom Dampf mitgerissenen Luft aus dem Zylinder ist von größter Bedeutung für eine gute Wärmeübertragung. Die bis jetzt benutzten Konstruktionen haben viel zu wünschen übrig gelassen, aber in den letzten Jahren hat man in Amerika die Lösung dieser Aufgabe versucht und auch gute Ergebnisse erzielt, die nun in Schweden mehr und mehr ausgenützt werden.

Beim Verdampfen des Wassers vom Papier vermischt sich somit gebildeter Dampf mit Luft, umgibt die Papiermaschine und verbreitet sich im ganzen Maschinenraum, in der Nähe der Trockenzylinder in dichterer Form und weiter entfernt mehr verdünnt. Dieser Umstand wirkt auch im höchsten Maß auf das Trockenvermögen wie auch auf die Wirtschaftlichkeit ein; außerdem wird die Luft im Arbeitsraum heiß und feuchtgesättigt, also recht lästig für das Personal. Es ist daher von größter Bedeutung, daß der Arbeitsraum gut gelüftet wird, was nicht nur den Aufenthalt hier erträglicher macht, sondern auch dazu beiträgt, das verdunstete Wasser zu entfernen, so daß der Trockenvorgang gefördert wird.

Für die Lüftung ist warme Luft in die Arbeitsräume einzuführen, die auf dem Weg an den Papiermaschinen vorbei deren Feuchtigkeit aufnimmt und sodann durch Schächte oder Schornsteine im Dache des Maschinensaales ableitet. Zum Erwärmen dieser Luft wurde früher Frischdampf oder Abdampf benutzt. An einigen Plätzen hat man hierzu auch mit Vorteil die Wärme der abgehenden Schornsteingase gebraucht.

Diese alten Lüfteinrichtungen verursachten selbstverständlich einen verhältnismäßig großen zusätzlichen Wärmeverbrauch für die Lüftung, insbesondere während der kälteren Wintermonate. Ein neues Verfahren, das schon seit einigen Jahren in Schweden eingeführt worden ist, gründet sich auf die Ausnutzung der Wärme, die in dem von der Papierbahn verdampften Wasser enthalten ist. Diese Wärme entspricht der Wärmemenge, die den Trockenzylindern zum Trocknen des Papiers zugeführt wird und macht daher eine beträchtliche Menge aus. Da die Temperatur der vom Maschinensaal abgehenden dampfgemischten Luft 40 bis 45 °C beträgt, hat man jedoch mit einer nur sehr geringwertigen Wärme zu arbeiten.

Anfangs entmutigten die großen Wärmeflächen, die für die Wärmebatterie erforderlich waren, aber es hat sich erwiesen, daß man ziemlich große Wärmeflächen in einem verhältnismäßig kleinen Raum unterbringen und die Größe der erforderlichen Wärmefläche durch geeignete Ausbildung der Konstruktionen in mäßigen Grenzen halten kann. Es ist natürlich sehr schwer gewesen, diese geringwertige Wärme wirtschaftlich auszunutzen, aber mit den Konstruktionen, die jetzt in Schweden benutzt werden, kann man diese Frage als gelöst betrachten[1]).

Sowohl in der Zellstoff- wie in der Papierindustrie, besonders jedoch in der erstgenannten, schwankt der Wärmeverbrauch sehr stark. Es ist klar, daß während der ersten Periode einer Kochung, des sogenannten Dampfens, wobei der Dampf unter 5 bis 6 at Druck in einen großen Behälter von rd. 200 bis 300 m³ Inhalt einströmt, große Dampfmengen auf einmal vom Kesselhaus geliefert werden müssen. Nach dem Dampfen und nachdem Kochsäure eingefüllt worden ist, wird der eigentliche Kochprozeß in Gang gesetzt. Die chemische Reaktion beim Kochen beginnt indessen nicht früher, als bis eine gewisse Temperatur erreicht worden ist. Um die großen Mengen auf diese Temperatur zu erwärmen, braucht man eine verhältnismäßig lange Zeit, etwa 4 bis 5 Stunden.

Diese Zeit zu verkürzen, bedeutet also eine größere Leistungsfähigkeit der Anlage. Man muß aber, wenn man die Zeit der Dampfzufuhr vermindert, die Dampfmenge vermehren. Dies bringt wiederum eine starke plötzliche Beanspruchung der Kessel mit sich. Solche wiederholten starken Belastungsschwankungen der Dampfkesselanlage veranlassen selbstverständlich eine unregelmäßige Heizung und daher einen schlechten Wirkungsgrad; die Kessel reichen unter Umständen auch nicht aus, und der Prozeß muß, bis der erforderliche Druck wieder vorhanden ist, unterbrochen werden. Ähnliche Vorgänge treten bei der Papierfabrikation auf, obschon in kleinerem Umfange.

Um die großen Belastungsschwankungen im Kesselhause zu vermeiden und um große Dampfmengen in kurzer Zeit liefern zu können, hat Dr. Johannes Ruths seinen Dampfspeicher konstruiert. Der Ruths-Speicher ist schon so bekannt[2]), daß eine nähere Beschreibung hier überflüssig ist. Ich habe ihn jedoch erwähnen wollen, da der Erfinder seine ersten Ideen gerade in der Papier- und Zellstoffindustrie erhalten hat, wozu auch kommt, daß er in dieser Industrie seine erste Anlage ausführte. Die Vorteile der Ruths-Speicher für die betreffenden Industrien werden wohl am besten durch eine Äußerung der Sachverständigen, welche die erste Anlage besichtigten, klargelegt; diese äußerten sich dahin, „daß der Akkumulator nicht nur eine Hilfsanordnung für diese Industrie ist, sondern als ein ihr angehöriger sehr wichtiger Teil betrachtet werden muß".

Ich will jetzt dazu übergehen, mit einigen Zahlen zu beleuchten, wie die

Produktion der schwedischen Holzstoff-, Zellulose und Papierindustrie

im Laufe der Jahre gesteigert worden ist, und außerdem einige Zahlen zum Vergleich mit andern Ländern geben, um die Bedeutung dieser schwedischen Industrie darzulegen.

Die Erzeugung und die Ausfuhr von Holzschliff und Zellstoff während der Jahre 1893 bis 1920 geht aus Zahlentafel 1 hervor.

Zahlentafel 1. Ergebnisse der Holzschliff- und Zellstoffindustrie Schwedens.

Jahr	Jährliche Erzeugung[3]) Mechanisch t	Jährliche Erzeugung[3]) Chemisch t	Zusammen t	Jährliche Ausfuhr Mechanisch t	Jährliche Ausfuhr Chemisch t	Zusammen t
1893 bis 1895	76 891	70 116	147 007	46 703	49 870	96 573
1896 „ 1900	120 367	139 300	259 667	69 517	99 554	169 071
1901 „ 1905	157 272	273 129	430 401	78 689	211 920	290 609
1906 „ 1910	220 076	498 992	719 068	113 182	376 818	490 000
1911 „ 1915	293 080	831 222	1 124 302	159 352	654 129	813 481
1916	346 183	978 275	1 324 458	177 233	692 528	869 761
1917	264 087	759 574	1 023 661	122 398	497 331	619 729
1918	266 469	653 784	920 253	159 541	464 128	623 669
1919	267 281	682 070	949 351	127 635	680 127	807 762
1920	325 000	979 200	1 304 200	162 785	717 849	880 633

[1]) Näheres über diese wärmetechnischen Fragen s. die Aufsätze des Verfassers in der deutschen Fachzeitschrift „Der Papierfabrikant" 1921 Heft 38 bis 40 und in „Svensk Papperstidning" 1923 Heft 8.

[2]) Z. Bd. 66 (1922) S. 509 u. f.

[3]) Die Erzeugungszahlen für die Jahre 1893 bis 1895 beziehen sich nur auf den Verkauf. Für die folgenden Jahre ist auch die Erzeugung, die nur der Verarbeitung in eigenen Werken diente, eingerechnet.

Erzeugung und Ausfuhr von Papier und Pappe während der Jahre 1891 bis 1920 geht aus Zahlentafel 2 hervor.

Zahlentafel 3 zeigt die Erzeugung von Holzschliff, Sufit, Sulfat und Papier für einige verschiedene Länder im Jahre 1920. Es sei jedoch bemerkt, daß die Fabrikation von Pappe in der Zusammenstellung nicht enthalten ist.

Zahlentafel 2. Ergebnisse der Papier- und Pappenindustrie Schwedens.

Jahr	Anzahl der Fabriken	Anzahl der Arbeiter	Jährliche Erzeugung t	Jährliche Ausfuhr t
1891 bis 1895	54	4 579	48 037	24 423
1896 „ 1900	59	5 209	86 608	42 584
1901 „ 1905	67	6 931	150 735	92 294
1906 „ 1910	69	7 829	228 641	145 921
1911 „ 1915	73	8 864	318 510	202 732
1916	76	9 072	409 486	264 873
1917	77	8 436	333 643	182 656
1918	78	8 172	293 804	154 923
1919	75	8 470	281 666	169 928
1920	79	12 319	400 074	299 313

Zahlentafel 3. Holzschliff-, Zellstoff- und Papiererzeugung verschiedener Industrieländer 1920.

Land	Erzeugung: Sulfit- und Sulfatstoff	Erzeugung: Mechan. ger. Holzstoff	Erzeugung: Zeitungspapier	Erzeugung: Andere Sorten
Schweden[4]) . . . . t	979 200	325 000	140 100	198 200
Norwegen[4]) . . . . . „	303 700	310 600	100 000	80 000
Finnland . . . . . . „	147 000	95 500[5])	90 000	72 000
Deutschland[6]) . . . . „	435 000	408 000	240 000	815 000
Kanada . . . . . . „	764 000	988 000	888 000	216 000
Vereinigte Staaten von Amerika . . . „	2 260 000	1 608 000	1 536 000	3 562 000
Zusammen	4 858 900	3 735 100	2 994 100	4 938 200

Aus den Zahlentafeln geht hervor, wie schnell sich Erzeugung und Ausfuhr dieser Industrien insbesondere in den letzten 20 bis 25 Jahren gesteigert haben. Unter den in Schweden für die Ausfuhr arbeitenden Industrien sind die hier erwähnten die größten. Als Beispiel sei genannt, daß die Ausfuhr von Papierstoff allein während der letzten Jahre rd. 11 vH der ganzen Ausfuhr Schwedens ausmachte. Im Jahre 1913 war Schweden das bedeutendste unter den Holz ausführenden Ländern der Welt, und in bezug auf den Umfang der Fabrikation stand es nur hinter den Vereinigten Staaten von Amerika zurück.

Die Erzeugung von Papier und Pappe hat sich auch beträchtlich gesteigert, und zwar hauptsächlich infolge Erweiterungen und Modernisierungen von alten Anlagen, aber auch durch das Hinzukommen von neuen großen Fabriken. Die Leistungsfähigkeit der in den letzten Jahren gegründeten Fabriken wird am besten dadurch beleuchtet, daß z. B. die Papierfabrik in Hallstavik nunmehr 52 000 t im Jahr erzeugt, d. h. mehr als die Erzeugung des ganzen Landes während der Jahre 1891 bis 1895, die 48 000 t im Jahr betrug.

Wie aus Zahlentafel 3 ersichtlich ist, liefert die schwedische Zellstoffabrikation einen bedeutenden Teil der Gesamterzeugung der Industrieländer und spielt daher auf dem Weltmarkt eine große Rolle. Die Holzstoff- und die Papierfabrikation spielen nicht dieselbe Rolle, sind aber doch so umfangreich, daß sie Faktoren sind, womit gerechnet werden muß.

Der Weg zum Erfolge.

Die großartige Entwickelung der schwedischen Holzstoff-, Zellstoff- und Papierindustrien beruht selbstverständlich in erster Linie darauf, daß sich tüchtige und energische Industrielle ihr zugewandt haben, aber eine große und wertvolle Arbeit ist auch von den schwedischen Ingenieuren geleistet worden, ohne deren zielbewußtes und gewissenhaftes Streben wir heute diese Stellung nicht erreicht hätten.

Da diese Industrien in Schweden durch reichliche Schätze an Wald und Wasserkraft noch große Entwicklungsmöglichkeiten haben und außerdem unter den heutigen Verhältnissen alles mög-

[4]) Stoff für Verkaufzwecke wie auch zur weiteren Verarbeitung in der eigenen Industrie.

[5]) Verkauf im eigenen Lande, ausschließlich des Stoffes für Verarbeitung zu Papier.

[6]) nicht amtlich.

liche getan werden muß, um die Erzeugnisse zu verbessern und zu verbilligen, so sind die Forderungen an die Ingenieure der Papier- und Zelluloseindustrie des Landes mehr und mehr gestiegen. Mit offenem Blick hierfür ist die Ingenieurarbeit der letzten Jahre immer intensiver geworden, woneben auch technisch-wissenschaftliche Forschung getrieben wird. Früher kam bei der Ausübung dieser Industrie recht viel Geheimnistuerei vor, die selbstverständlich nicht zur Entwicklung beitrug, sondern sie im Gegenteil hemmte. In den letzten Jahren ist diese Erscheinung glücklicherweise zu Nutz und Frommen der vorwärts schreitenden Entwicklung ganz verschwunden.

Wohl wissen die schwedischen Ingenieure, daß sie allein nicht alles leisten können, was von ihnen verlangt wird, sondern daß sie die Erfahrungen andrer Länder nützen müssen, und dies bezieht sich in erster Linie auf Deutschland und Amerika.

Die schwedischen Ingenieure der Papier- und Zellstoffindustrie sind in dem Verein: Svenska Pappers- och Cellulosa-Ingeniörsföreningen" zusammengeschlossen. Dessen Aufgabe liegt hauptsächlich darin, einen Austausch von Erfahrungen und Beobachtungen zwischen den Ingenieuren des Fachgebietes zu vermitteln und auch das Zusammenarbeiten mit ausländischen Vereinen und Wissenschaftlern vom Fach zu fördern. Hier haben die schwedischen Ingenieure Gelegenheit, sich mit unerläßlichem Eifer der weiteren Entwicklung der für die Weltkultur so wichtigen Papierfabrikation zu widmen.

[A 2085]

RUNDSCHAU.

Schweden als Industrieland.

Es gibt nur wenige Länder, deren Charakter als Industrieland sich so scharf umreißen läßt, wie der Schwedens. Die technisch-industrielle Entwicklung dieses Landes ist weitgehend durch die natürlichen Voraussetzungen bestimmt. Diese sind in ganz groben Zügen: Reichtum an Eisenerzen, ungeheure Waldbestände und mehrere Millionen PS ausbaufähige Wasserkräfte. Dem steht ein empfindlicher Mangel an fossilen Brennstoffen gegenüber, den zwar geringe Vorkommen an Steinkohle, Torf, Ölschiefer sowie Abfälle aus der Holzindustrie mindern, aber nicht beseitigen können.

Schweden hat zwei große Eisenerzlagerstätten. Das seit uralten Zeiten bekannte Gebiet in Mittelschweden, das der Landschaft den Namen „Bergslagen" gab, sowie das jüngere und nach heutiger Kenntnis etwa $^9/_{10}$ des schwedischen Eisenerzreichtums ausmachende Gebiet im nördlichsten Schweden, in Lappland. Die sonstigen Erzlagerstätten sind verhältnismäßig unbedeutend. Das Kennzeichen und der besondere Wert der schwedischen Erze liegt in ihrem hohen Eisengehalt, der im Mittel 60 vH beträgt, und in der hohen Reinheit. Derart vorzügliche Erze sind ein besonders geeignetes Ausgangsmaterial für die Herstellung von Qualitätsstahl und -eisen. Begünstigt wird die Herstellung von solchem hochwertigen Stahl und Eisen durch die Verwendung der schwedischen Holzkohlen.

Der schon oben erwähnte Mangel an Brennstoffen, hier in erster Linie an Steinkohlen, macht es Schweden unmöglich, seine Eisenerze durchweg selbst zu verhütten und weiter zu verarbeiten; denn für die Massenerzeugung von Eisen und Stahl in den gewöhnlichen Handelsqualitäten, wie sie z. B. in Deutschland, England und Frankreich überwiegt, ist das Arbeiten mit Holzkohlen wirtschaftlich nicht durchführbar. Für Schweden ist es daher am vorteilhaftesten, die Eisenerze, die sich zur Herstellung namentlich von Qualitätsmaterial im Lande nicht eignen, in größtem Umfang auszuführen. Der größte Teil dieser Erze wird in Deutschland verhüttet. Die zur Herstellung von hochwertigen Eisen- und Stahlsorten günstigen Vorbedingungen haben in Schweden eine bedeutende Hüttenindustrie erstehen lassen (vgl. S. 330 dieses Heftes). Im Jahre 1914 waren in Schweden 116 Hochöfen im Betrieb mit einer Jahreserzeugung von etwa 640 000 t Roheisen. Bei der Stahlerzeugung läßt die Statistik ein schnelles Aufsteigen der nach dem Siemens-Martin-Verfahren hergestellten Mengen erkennen, während nach dem Bessemer- und Thomas-Verfahren weit weniger gewonnen wurde. Die Schweißstahlherstellung befindet sich im Rückgang. Neuerdings macht sich eine erhöhte Erzeugung an Elektrostahl bemerkbar, für dessen Herstellung die natürlichen Bedingungen wegen der reichlich vorhandenen und billigen Wasserkräfte ganz besonders günstig liegen; 15 elektrische Hochöfen, System Elektrometall, sind nunmehr in Betrieb.

Die Nichteisenmetall-Gewinnung nimmt im Verhältnis zur Eisengewinnung gegenwärtig nur eine untergeordnete Stellung ein. Im 16., 17. und 18. Jahrhundert aber war die Kupfer- und auch die Silberverhüttung von großer Bedeutung. Im Jahre 1655 wurde die höchste Erzeugung mit 3453 t Kupfer erreicht, die ausreichend war, um so gut wie den gesamten damaligen Weltverbrauch an Kupfer zu decken. Seitdem ist die Nichteisenmetall-Gewinnung im Niedergang begriffen, doch ist in den allerletzten Jahren ein Umschwung eingetreten, der seinen Grund hauptsächlich in dem Aufkommen neuer elektrometallurgischer Verfahren hat. Die weitere Entwicklung hängt von der praktischen Durchbildung der Verfahren ab. Jedenfalls eröffnet auch auf diesem Gebiet die verfügbare billige Wasserkraft gute Aussichten für die Zukunft.

Die schwedische Maschinenindustrie genießt einen guten Ruf. Schweden umfaßt eine größere Anzahl zeitgemäß eingerichteter großer Maschinenfabriken und ist in der Lage, fast alle Maschinenarten, die im Lande gebraucht werden, selbst zu bauen. Neuerdings sind Bestrebungen im Gange, zwecks wirtschaftlicher Fertigung eine gewisse Spezialisierung und eine gewisse Arbeitsverteilung für die einzelnen Werkstätten zu erreichen, um deren Einrichtungen besser ausnützen zu können. Seit einigen Jahren beschäftigt sich die schwedische Industrie auch zielbewußt mit der Normung und hat sich vor etwa Jahresfrist in Svenska Industriens Standardiseringskommission eine Spitzenorganisation zur Durchführung der Normungsarbeiten geschaffen. Weltruf hat die schwedische Maschinenindustrie durch eine Reihe von Spezialerzeugnissen erworben, die zum Teil auf schwedischen Erfindungen beruhen, wie z. B. Lavals Separatoren und Turbinen, Ljungströms Turbinen, Daléns Leuchtapparate, SKF-Kugellager, Wasserturbinen, sowie Diesel- und Rohölmotoren verschiedener Hersteller. Über Schwedens Grenzen hinaus bekannt ist auch die Firma Johanson, die Feinmeßwerke herstellt.

Bemerkenswert ist auch die schwedische Lokomotiv- und die Schiffbauindustrie, die meistens für den einheimischen Bedarf arbeiten, sowie die Kleineisenindustrie in Eskilstuna.

Der schwedische Waldreichtum hat eine umfangreiche Holz- und Papierindustrie aufblühen lassen. Nicht weniger als 54 vH der gesamten schwedischen Landfläche sind bewaldet. Zwei Drittel des schwedischen Waldbestandes liegen nördlich vom Dalälv. Am größten ist der Waldreichtum im mittleren bis nördlichen Schweden. In diesen Gegenden hat sich seit altersher eine lebhafte Holzindustrie angesiedelt. Sägewerke bestehen in Schweden wohl schon seit dem Mittelalter, jedoch erhielt diese Industrie den eigentlichen fabrikmäßigen Charakter erst im 19. Jahrhundert[1]). Einen gewaltigen Aufschwung nahm die Holzindustrie nach Einführung der Dampfkraft und Anlegung der Eisenbahnen. In den letzten Jahren machte die schwedische Holzausfuhr nicht viel weniger als die Hälfte der Gesamtausfuhr aus. Die hauptsächlichsten Exportartikel sind Bretter und Planken, sowie Eisenbahnschwellen und Grubenholz. Diese Erzeugnisse gehen in die verschiedensten Länder, von denen England das wichtigste ist (Grubenholz).

Ein andrer sehr bedeutsamer Zweig der schwedischen Holzindustrie im weiteren Sinn ist die Papierindustrie, über deren Entwicklung und Bedeutung auf S. 343 dieses Heftes ausführlich berichtet wird.

Der bedeutendste Grundpfeiler des schwedischen industriellen Lebens ist der Reichtum an Wasserkräften; denn sie sind, wenn einmal ausgebaut, praktisch unerschöpflich, und die aus ihnen gewonnene elektrische Energie läßt sich in der vielseitigsten Weise verwenden. Auch über dieses Gebiet ist in diesem Heft auf S. 321 ein Bericht von berufener Feder enthalten.

Eng verknüpft mit dem Ausbau der Wasserkräfte ist der Bau von Wasserturbinen[2]) und die schwedische Elektroindustrie, die in der Lage ist, vom Stromerzeuger an der Turbine bis zum Elektromotor in der Werkstatt alles Zubehör, wie Transformatoren, Schalter, Hochspannungsleitungen, Installationsmaterial usw. zu liefern. Führend ist hier Allmänna Svenska elektriska Aktiebolaget in Västerås.

Außer den hier genannten Industriegruppen sind heute fast sämtliche auch in andern Kulturländern ausgeübten Industrien vertreten. Besonders zu erwähnen ist die schwedische Zündholzindustrie in Jönköping. Ferner sind vorhanden Ziegel-, Zement-, Glas-, Teer- und Gummiindustrie, Textil- und Lederindustrie, keramische Industrie, chemisch-technische Industrie, sowie Zuckerindustrie. Steine für Pflaster und Bauzwecke sind ein wesentlicher Ausfuhrartikel.

Ein gewisses Maß für die industrielle Tätigkeit bildet der Brennstoff- und Energieverbrauch. Neben etwa 3 bis 4 Mill. t eingeführten Steinkohlen und etwa einem gleichwertigen Betrag einheimischer Brennstoffe — in erster Linie Holz — werden rd. 3 Milliarden kWh elektrischer Energie verbraucht, was ungefähr 5 bis 6 Mill. t Steinkohlen entsprechen würde. Der Industrialisierungsgrad, in spezifischem Kohlenverbrauch ausgedrückt, entspricht also ungefähr 2,5 bis 3 kg auf 1 Einwohner.

Von einer industriellen Tätigkeit in Schweden kann man erst seit dem sechzehnten Jahrhundert sprechen. Die führenden Persönlichkeiten auf diesem Gebiete waren Gustav Wasa und Karl IX. Gustav Wasa war zu seiner Zeit der bedeutendste Gewerbetreibende im Lande. Schon damals brachte es der schwedische Schiffbau und die Waffenherstellung zu einer ansehnlichen Stellung. Karl IX. förderte besonders den Bergbau in Värmland, ließ aber schon vor seiner Thronbesteigung Waffen- und Tuchfabriken anlegen.

Im siebzehnten Jahrhundert treten besonders die Verdienste Gustav VI. Adolfs, und Axel Oxenstiernas um Handel und Industrie hervor. Beide arbeiteten auf eine zielbewußte Förderung der Industrie hin, indem sie nicht nur tüchtige Facharbeiter ins Land beriefen, um die einheimischen Arbeiter anzulernen, sondern

[1]) Vergl. S. 330 dieses Heftes.

[2]) Ein Aufsatz über die Wasserturbinen auf der Ausstellung Gothenburg 1923 in Heft 15 dieser Zeitschrift, das den Wasserkraftmaschinen gewidmet sein wird, soll diesem Industriezweig Schwedens Rechnung tragen.

vor allen Dingen suchte man auch kapitalkräftige Kaufleute dazu zu bewegen, sich an schwedischen Unternehmungen zu beteiligen oder selbst nach Schweden zu kommen. Unter diesen Kaufleuten war der bedeutendste der Holländer de Geer, der 1627 nach Schweden übersiedelte. Dieser Bewegung verdankt auch die Stadt Göteborg, die im vergangenen Jahre ihr 300jähriges Jubiläum durch eine glanzvolle Ausstellung feierte[1]), ihr Entstehen. Zur Zeit Karls XI. gegen Ende des 17. Jahrhunderts beschäftigte sich die schwedische Industrie zum großen Teil mit der Fabrikation militärischen Ausrüstungsmaterials, wie Tuche, Waffen, Schiffe und Schiffsanker.

Während bisher die Könige die wichtigsten Förderer der Industrie gewesen waren, spielten seit Beginn des achtzehnten Jahrhunderts Privatleute die führende Rolle. Unter diesen ist namentlich der Schwede Jonas Alströmer hervorzuheben. Er hatte in England die Bedeutung industrieller Tätigkeit für die Volkswirtschaft erkannt und legte in Alingsås (in der Nähe von Göteborg) große Textilwarenfabriken an. Freilich erfolgten später nicht unerhebliche Rückschläge, doch war die gewerbliche Erziehung, die diese industriellen Bestrebungen mit sich brachten, von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Das neunzehnte Jahrhundert hatte durch die Einführung der Dampfkraft auch für Schweden eine Umwälzung in der Industrie zur Folge. Im Jahre 1804 wurde in Stockholm durch den Engländer Owen die erste Dampfmaschine in Schweden aufgestellt, und 1809 gründete Owen eine Maschinenbauanstalt, die den Beginn der modernen schwedischen Maschinenindustrie darstellt. Owens Verdienst ist es auch, daß Schweden nächst England zuerst die Dampfkraft in der Schiffahrt einführen konnte.

Nach diesem Zeitpunkt trennt sich die Geschichte der schwedischen Industrie in verschiedene fachliche Zweige. Von allgemeiner Bedeutung sind die Durchführung der Gewerbefreiheit in den Jahren 1846 und 1864, ferner der französische Handelsvertrag vom Jahre 1865, durch den das Freihandelssystem vorübergehend eingeführt wurde. 1888 und 1892 erfolgte die Rückkehr zu einem gemäßigten Schutzzollsystem. Über die heutige Stellung der schwedischen Industrie sind in der Erwähnung der einzelnen Fachgebiete einige Worte gesagt. Im Weltkrieg erlebte die schwedische Industrie eine ungeahnte Hochkonjunktur, doch ist Schweden von der wirtschaftlichen Erschütterung, die dem Weltkrieg folgte und durch die wirtschaftsfeindliche französische Machtpolitik noch verschärft wurde, wie alle Länder Europas stark in Mitleidenschaft gezogen worden. Da man aber einen Teil der Konjunkturgewinne zum Ausbau von Fabriken usw. verwendet hat, wird Schweden bei Wiedereintritt normaler Wirtschaftsverhältnisse nicht ungünstig dastehen.

Für jede industrielle Entwicklung ist die Frage der Verkehrsmöglichkeiten zum Heranschaffen der Rohstoffe und Abtransport der Erzeugnisse von hervorragender Bedeutung. Schwedens ausgedehnte Küsten mit zahlreichen guten Häfen, die vielen Ströme und zahlreichen Binnengewässer im Lande haben schon von altersher einen lebhaften Schiffsverkehr ermöglicht. Schwedens größte Häfen sind Stockholm und Göteborg, beide mit Freihäfen. Die schwedische Handelsflotte ist zwar im Vergleich zu den andern Schiffahrt treibenden Ländern nicht groß, befindet sich aber in stetigem Wachstum.

Recht bemerkenswert ist das schwedische Binnenschiffahrtsnetz mit den zahlreichen Strömen, Seen und Kanälen. Schon unter Karl IX. wurde der erste großzügige Plan für ein System von Binnenschiffahrtstraßen entworfen, und in den Jahren 1596 bis 1610 wurde der erste Kanal mit Holzschleusen zwischen dem Mälar- und Hjälmarsee gebaut. Der Plan, die große Wasserstraße von Göteborg nach Stockholm quer durch das Land unter Benutzung des Wener- und Wetter-Sees anzulegen, wurde schon 1718 beschlossen, doch wurde das Werk erst im neunzehnten Jahrhundert nach Anlage des Trollhätte- und Götakanals vollendet. Um die ersten Anfänge des Trollhättekanals hat sich besonders der geniale Baumeister Polhem verdient gemacht. Außerdem bestehen noch eine große Anzahl andrer Kanalbauten, die zum Teil interessante Ingenieurbauwerke darstellen. Mit der Anlage der Eisenbahnen ging allerdings die Bedeutung der Kanäle zurück, doch hofft man neuerdings auf eine Wiederbelebung der Binnenschiffahrt.

Der Bau von Eisenbahnen wurde in Schweden verhältnismäßig spät aufgenommen, doch dann mit großer Energie fortgesetzt, so daß Schweden heute im Verhältnis zur Einwohnerzahl die meisten Eisenbahnen von allen europäischen Ländern hat. Die Hauptlinien (Stockholm-Göteborg, Stockholm-Riksgränsen, Stockholm-Malmö, Göteborg-Trälleborg usw.) gehören dem Staat, während die Nebenbahnen sich fast durchweg in Händen von Privatgesellschaften befinden, die sie auch betreiben. Die Privatbahnen sind zusammen etwa doppelt so lang wie die Staatsbahnen, doch ist der Verkehrsumfang auf den Staatsbahnen größer als auf den Privatbahnen. Bezüglich der Tarife gelten für alle Bahnen einheitliche Richtlinien und Vereinbarungen, um einen ungesunden Wettbewerb auszuschalten. Mit Dänemark bestehen Dampffährenverbindungen mit Wagenübergang über Hälsingborg und Malmö und mit Deutschland über Trälleborg (nach Saßnitz). Fast alle Strecken sind mit wenigen Ausnahmen eingleisig ausgeführt. Elektrischer Betrieb besteht in vollem Umfange seit dem Sommer 1923 auf der Strecke Luleå-Riksgränsen[2]), im nördlichsten Schweden. Teilstrecken waren schon einige Jahre früher im Betrieb. Diese Bahn dient in erster Linie dem Abtransport der Eisenerze nach den Häfen Luleå (Schweden) und Narvik (Norwegen). Sie ist besonders bemerkenswert dadurch, daß sie zum größeren Teile nördlich des Polarkreises liegt, weshalb im Winter mit ganz ungewöhnlichen Betriebverhältnissen zu rechnen ist. Trotzdem hat sich der elektrische Betrieb auf dieser Strecke glänzend bewährt und Verkehrsleistungen erreicht, die mit Dampflokomotiven wohl kaum oder nur schwer zu erreichen wären. Die elektrische Energie liefert das Wasserkraftwerk Porjus. Der Erfolg auf der Riksgränsbahn mag dazu beigetragen haben, daß die schwedischen Staatsbahnen nunmehr auch die Elektrisierung der Strecke Stockholm-Göteborg von 458 km Länge beschlossen haben. Zweifellos werden bald weitere Strecken folgen; denn jede Strecke mit elektrischem Betrieb mittels Wasserkraftenergie vermindert wenigstens die Kohleneinfuhr.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 745.
[2]) Z. Bd. 64 (1920) S. 181 und 205, Bd. 68 (1924) S. 72.

Post- und Telegraphenwesen sind in Schweden streng getrennt. Die dünne Besiedlung des Landes, namentlich in den nördlichen Teilen, stellt die schwedische Post vor schwierige Aufgaben. Bemerkenswert ist, daß seit 1869 für die beiden Nachbarstaaten Dänemark und Norwegen dasselbe Briefporto wie im innerschwedischen Verkehr gilt. Das Telegraphen- und Fernsprechwesen ist in Schweden sehr gut entwickelt, eine natürliche Folge der teilweise recht bedeutenden Entfernungen im Lande, bei denen die beste Briefpost nur mit erheblichem Zeitaufwand arbeiten kann. Namentlich auf dem Gebiete des Telephonwesens stand Schweden lange Zeit an erster Stelle. Die Hauptfernsprechlinien werden allmählich mit Kabelleitungen ausgestattet. Die Strecke Stockholm-Göteborg ist schon im Betrieb.

Das Patentwesen ist hoch entwickelt. Hinsichtlich Ausführung und Genauigkeit der Prüfung kommt es dem deutschen nahe.

Bisher ist in diesen Ausführungen nur ein Überblick über die materiellen Faktoren gegeben, die für die schwedische Industrie von Bedeutung waren und es heute sind. Die Darstellung wäre aber durchaus unvollständig, wenn nicht wenigstens kurz die Männer erwähnt würden, die dank oft geradezu genialer technischer Begabung und frischen Erfindergeistes dazu beigetragen haben, daß Schweden heute in der Technik in der ersten Reihe unter den Völkern der Welt steht. Fast scheint es so, als hätten die unzähligen Naturhindernisse, die das nordische Klima jedem menschlichen Tun in den Weg legt, die Schweden zu einem Menschenschlag entwickelt, dem technisches Denken und Können in höherem Maße eigen ist als andern Völkern. Bemerkenswert ist auch, daß in Schweden der Ingenieur im privaten wie im öffentlichen Leben ein besonderes Ansehen genießt. Erwähnt seien hier nur einige wenige Namen:

Kr. Polhem (1661 bis 1751), hervorragender Bau- und Bergwerksingenieur;

P. Lagerhjelm (1787—1856), der Begründer der Materialprüfung;

John Ericsson (1803—89), der das Problem der Schiffsschraube praktisch löste, die Dampfspritze und die Warmluftmaschine erfand, ferner den ersten Monitor konstruierte;

Emanuel Nobel (1801 bis 72), der das Nitroglycerin als Sprengstoff einführte; sein Sohn

Alfred Nobel (1833 bis 96), der Erfinder des Dynamits und Stifter des in der Welt einzig dastehenden Nobelpreises;

A. Lagermann (1836 bis 1904), Erfinder zahlreicher in der Zündholzindustrie verwendeter selbsttätiger Maschinen;

G. de Laval (1845 bis 1913), dem das Molkereiwesen zahlreiche Erfindungen verdankt, außerdem schuf er die weltbekannte de Laval-Turbine;

L. M. Ericsson, der das Telephon wesentlich verbesserte, Gründer einer Telegraphenbauanstalt;

Gustav Dalén, Erfinder des Aga-Lichtes und einer großen Anzahl andrer Neuerungen;

J. A. Brinell, der den nach ihm benannten Kugeldruckversuch erdachte und in das Materialprüfwesen einführte;

B. Ljungström u. F. Ljungström, Konstrukteure der Ljungström-Turbine und einer Turbinenlokomotive;

S. Wingquist, der das SKF-Kugellager mit selbsttätiger Einstellung und sphärischem Außenring erfand;

J. Wenström, einer der Begründer des Dreiphasensystems, das heute gerade für sein Land so ungeheure Bedeutung hat.

Auch in neuester Zeit lebt der schwedische Erfindergeist kräftig fort, man braucht nur an

Dr. Ruths, den Erfinder des nach ihm benannten Wärmespeichers und an

V. Blomquist, den Erfinder des Atmos-Kessels für 100 at Druck zu denken.

Aber nicht nur die natürliche Veranlagung für technische Berufe, sondern auch die Neigung zum Lernen und wissenschaftlichen Arbeiten haben dem schwedischen Ingenieur hohes Ansehen in der ganzen Welt verschafft. Gerade in Deutschland, wo ein Teil der schwedischen Ingenieure seine Ausbildung genossen hat, hat man die angehenden schwedischen Ingenieure stets gern gesehen und schätzen gelernt, sowohl als tüchtige Schüler wie auch als sympathische Menschen.

Der große Teil der schwedischen Ingenieure genießt heute seine Ausbildung im Lande selbst, doch versäumt kein junger Ingenieur, im Auslande für kürzere oder längere Zeit die im Lande erworbenen Kenntnisse zu erweitern. An der Spitze der technischen Lehranstalten steht die technische Hochschule in Stockholm, die vor einigen Jahren ihr mustergültiges neues Heim beziehen konnte. Daneben besteht noch in Göteborg das Chalmersche Institut. In zweiter Linie folgen eine Reihe technischer Mittelschulen, sowie schließlich eine große Anzahl technischer Gewerbeschulen.

[M 90] Dipl.-Ing. Reichardt.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 15 SONNABEND, 12. APRIL 1924 BD. 68

Wasserkraftmaschinen.

INHALT:

Fortschritte im Turbinenbau nach dem Weltkriege.

Von Oberingenieur Dr.-Ing. eh. Carlos Schmitthenner in Heidenheim an der Brenz[1]).

Besprochen werden einige Voithsche Turbinen für kleine und für mittlere Gefälle. 1) Francisturbinen mit stehenden Wellen: Mainaschaff, drei Turbinen, mittels Holz-Eisen-Kegelräder eine gemeinsame Welle mit Dynamo treibend, spiralförmige Betonkammer; Hohenstein, Stirnräder aus Stahl, einen Stromerzeuger mit stehender Welle antreibend, Schmierung, erleichterter Ausbau von Leitschaufeln; Am letzten Heller, unmittelbare Kupplung des Stromerzeugers mit der stehenden Turbinenwelle, Aufstellung des Stromerzeugers teils auf einem Mauersockel, teils auf gußeisernen Füßen, Spurlager mit beweglichen Schuhen; Unteropfingen, ähnlich in Kupplung und Aufstellung, jedoch größere Leistung. — 2) Francisturbinen mit liegenden Wellen; Heberkammern mit Entlüftungsvorrichtungen: Meitingen, Zweiradturbine mit Bedienungskammer, Regler mit Windkessel; Fröndenberg, Zweiradturbine ohne Bedienungsraum, Lager im Wasser; Raanaasfoss, größte Zwillingsturbine, rd. 100 m³/s Wassermenge; Mauer, Talsperrenwerk in Schlesien, große Spiralturbine; Alzwerk Hirten-Holzfeld, Stirnkesselturbine mit Bedienungsraum, Fallschütze und Rechenputzmaschine im Wasserschloß. — 3) Flügelradturbinen, Kaplanturbinen; Erfolge in Amerika und in Deutschland; Siebenbrunn, stehende Turbine mit drehbaren Laufradflügeln, Schirmdynamos; Auerhammer, Turbinen mit liegender Welle und drehbaren Flügeln.

Einleitung.

Während des Weltkrieges war der Turbinenbau in Deutschland stark zurückgegangen. Kurz nach dem Waffenstillstand nahm jedoch unter dem Einfluß der Kohlennot der Ausbau von Wasserkräften rasch wieder zu. Da Deutschland nicht viele Hochgefälle besitzt, so sehen wir an unsern Flüssen eine Reihe von größeren Wasserkraftwerken mit niedrigen und mittleren Gefällen entstehen. Die Abmessungen der Turbinen wuchsen mehr und mehr.

Infolge der Teuerung stiegen die Baukosten ins Ungemessene und zu ihrer Verringerung bürgerten sich neue Anordnungen und Konstruktionen ein, die trotz hohen Ausbaues die Ausnutzung der Wasserkräfte bis herab zum Kleinwasser mit gutem Wirkungsgrad ermöglichen sollen, was für unsre Verhältnisse besonders wichtig ist. In den Versuchsanstalten wird eifrig gearbeitet und in der Steigerung von Wirkungsgrad und Schnellläufigkeit werden laufend Fortschritte erzielt.

Aus der großen Zahl der von J. M. Voith in Heidenheim an der Brenz nach dem Krieg ausgeführten Turbinenanlagen für kleine und mittlere Gefälle werden im folgenden einige bemerkenswerte herausgegriffen.

1. Francisturbinen mit stehenden Wellen.

Die Mainkanalisation hat unterhalb Aschaffenburg mehrere Staustufen von etwa 2 m Höhe geschaffen, deren oberste durch das der Kraftversorgungs-A.-G., Mannheim, gehörige **Kraftwerk Mainaschaff** ausgenutzt wird.

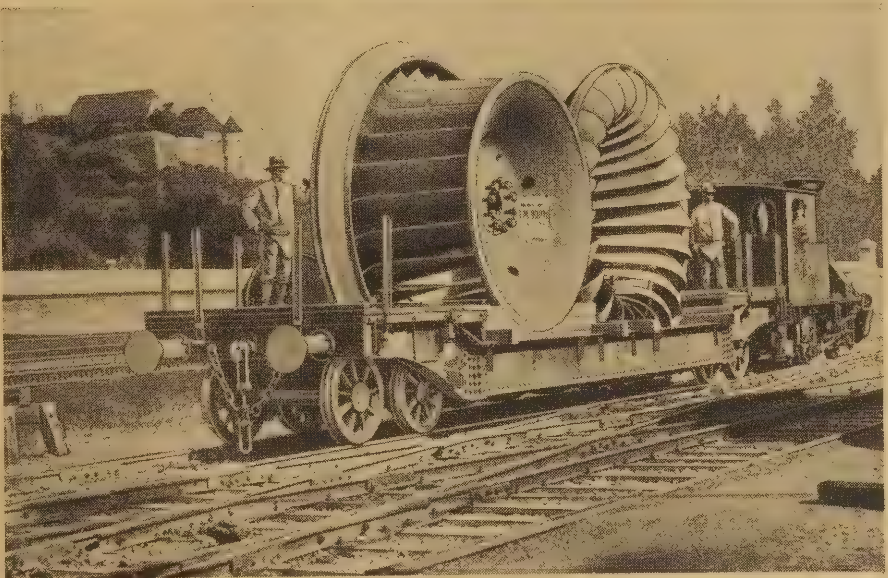


Abb. 4. Zwei Laufräder für die Turbinen der Anlage Mainaschaff verlassen die Werkstätte zu Heidenheim.

Als freistehender, mächtiger Stompfeiler erhebt sich das Turbinenhaus inmitten des Mains, Abb. 1. Rechts und links vom Pfeiler stauen Walzenwehre den Fluß an, der, auf drei Turbinen verteilt, den Pfeiler quer durchströmt.

Die Turbinen sind für 1,69 m normales Gefälle je 27,3 m³/s Wassermenge, 263 Uml./min und 474 PS Leistung konstruiert. Bei Niedrigwasser steigt das Gefälle bis 2,23 m an, wobei die einzelne Turbine eine größte Leistung von 720 PS erreicht. Es sind Francisturbinen mit senkrechter Achse und der spez. Drehzahl $n_s = 304$, also mit mäßiger Schnelläufigkeit, damit auch bei Teillast hohe Wirkungsgrade verbürgt werden konnten.

Dem geringen Gefäll entsprechend sind die beiden gußeisernen, durch schmiedeiserne Säulen verbundenen Tragringe von 4900 mm Dmr. leicht gehalten, Abb. 2. Die Turbinen haben sogenannte Außenregelung, wobei die Leitschaufeln mit ihren oberen Stahldrehzapfen den Ringdeckel durchdringen. Ein kräftiger Regulierring, Abb. 3, erfaßt einerseits mit Lenkern und Hebeln die Leitschaufeln, anderseits steht er mittels Zugstangen, Welle und Hebeln mit dem durch das Maschinenhaus hinlaufenden Reglergestänge in Verbindung.

Das 12 000 kg schwere Laufrad aus Gußeisen mit eingegossenen Stahlblechschaufeln hat 4,1 m Dmr. Seine Gesamthöhe beträgt 1950 und die Höhe der Eintrittkanten 1300 mm. Abb. 4 zeigt zwei der Laufräder beim Verlassen der Werkstätte in Heidenheim.

[1]) Nach einem Vortrag im Württembergischen Bezirksverein des Vereines deutscher Ingenieure.

Bei so großen Wassermengen und niedrigen Gefällen kann ein guter Wirkungsgrad nur mit sorgfältigster Wasserzu- und -abführung erzielt werden. Der Betonsaugkanal, Abb. 5, zeigt die der Firma geschützte[1]) gekrümmte Mittelwand, hier in Eisenbeton ausgeführt, die die Wirkungsgrade je nach Schnelläufigkeit und Beaufschlagung um 2 bis 4 vH erhöht. Auch in der Betonspirale ist durch Zwischenwände für gute Wasserführung gesorgt, Abb. 6.

Der Oberwasserspiegel wird durch die heberförmig ausgebildete Spiralkammer um 0,8 m hochgesaugt; dadurch kommt die Turbinenkammer über das Unterwasser zu liegen. Der Turbinendeckel kann vom Laufkran aufgehoben werden, die oberen Zapfenlager der Leitschaufeln sowie die Hebel usw. der Außenregelung sind bequem zugänglich. Diese Bauweise ist für große Turbinen mit Recht sehr beliebt geworden. Die hochgelegte Turbinenkammer ist besonders günstig für Schnelläufer, die unter dem Laufrad eine möglichst lange Saugrohrentwicklung mit schlanken Krümmungen verlangen, da bei Schnelläufern guter Wirkungsgrad einen hohen Saugrohr-Rückgewinn voraussetzt.



Abb. 1. Wehr- und Wasserkraftanlage Mainaschaff.

Auf kräftigem gekröpftem Querbalken aus Gußeisen, Abb. 7, ruht das Spurlager für 38 000 kg Belastung sowie das Halslager, das des großen Lagerdruckes wegen mit Ölumlaufschmierung versehen ist. Holzkammräder mit 4850/1027 mm Teilkreis-Dmr., 950 mm Zahnbreite und 170/36 Zähnen treiben im Untergriff die gemeinschaftliche Vorgelegewelle mit 125 Uml./min und daran anschließend den Stromerzeuger von Brown, Boveri & Cie. mit 1650 PS Leistung an. Dementsprechend werden auch die Turbinen gemeinschaftlich geregelt, und neben dem Stromerzeuger hat der hydraulische Geschwindigkeitsregler von 5000 mkg Regelungsarbeit seinen Platz gefunden.

Bei Anlagen mit so geringen Gefällen ist eine Rentabilität nur bei größter Einfachheit und Billigkeit der Anordnung möglich. Deshalb wurden die Turbinen so groß gewählt, daß mit nur drei Einheiten die ganze auszunützende Mainwassermenge bewältigt werden kann. Die Aufstellung nur eines Stromerzeugers und eines Reglers vereinfacht die Anlage weiterhin. Trotzdem können alle vorkommenden Wassermengen bis herab zu den kleinsten mit hohem Nutzeffekt ausgenützt werden, da jede Turbine einzeln abschützbar und abkuppelbar ist.

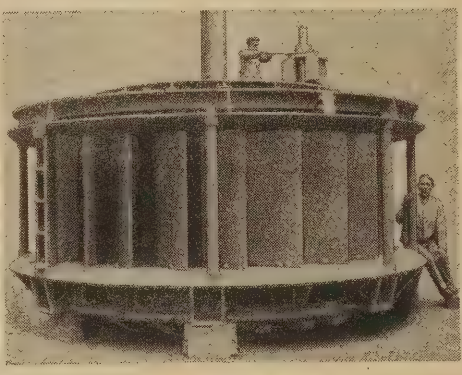




Abb. 2 und 3. Leitrad der Turbine Mainaschaff mit Außenregelung.

Für die hier und bis vor kurzem ausschließich angewendeten Holzkammräder scheint die obere Grenze bei etwa 750 PS und einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 5 zu liegen. Für größere Kräfte und stärkere Übersetzungen muß zu Stahlrädern gegriffen werden, wie z. B. in der Anlage Groß-Wohnsdorf der Ostpreußenwerke an der Alle und einem ähnlichem Werk in Finnland, bei denen zwei Turbinen je einen gemeinschaftlichen Drehstromerzeuger antreiben. Das bei der Anlage Mainaschaff über Turbine, Betonspirale, Lagerung und Regler Angeführte gilt auch hier. Die Kegelräder dieser beiden Anlagen haben Winkelzähne, Abb. 8. Trieb und Radkranz sind öldicht eingekapselt, und eine kleine Schmierpumpe spritzt dauernd Ölstrahlen in die Verzahnung.

Auch für kleinere Kräfte werden neuerdings Stahlräder mit gutem Erfolg angewendet, wie z. B. für die Anlage Olching der München-Dachauer Papierfabriken, wo die stehende Welle mit 66,67 Uml./min mittels Kegelräder im Obergriff 338 PS auf die wagerechte Dynamowelle mit 300 Uml./min überträgt. Die Stahlräder in öldichter Kapselung haben indessen hier nicht winkelförmige, sondern gerade gehobelte Flanken. Ob die geraden Stahlzähne auch für größere Kräfte Anwendung finden können, muß die Erfahrung lehren.

Als Mitbewerber der Stahlkegelräder drängt sich in neuerer Zeit für größere Kräfte das hochwertige Stirnrädergetriebe mit Stahlverzahnung hervor. Voith hat bis jetzt sieben Turbinen mit Stirnradgetrieben ausgeführt und in Arbeit.

Drei davon sind für das vom Gußstahlwerk Witten errichtete



Ruhr-Kraftwerk am Hohenstein

mit 4,3 m Gefälle, bestehend aus Einheiten von je 1250 PS bestimmt. Die Turbinenwelle mit 60 Uml./min ist mit dem Kruppschen Zahnrädergetriebe gekuppelt, das einen Sachsenwerk-Stromerzeuger mit 750 Uml./min antreibt. Abb. 9 und 10. Wie der Schnitt, Abb. 9, zeigt, ist hier das Rädergetriebe räumlich fast zur Hauptsache geworden, es teilt mit dem Regler den Platz auf dem Maschinenhausboden, während der verhältnismäßig kleine Stromerzeuger seinen Standort auf einer besondern hochgestellten Bühne gefunden hat.

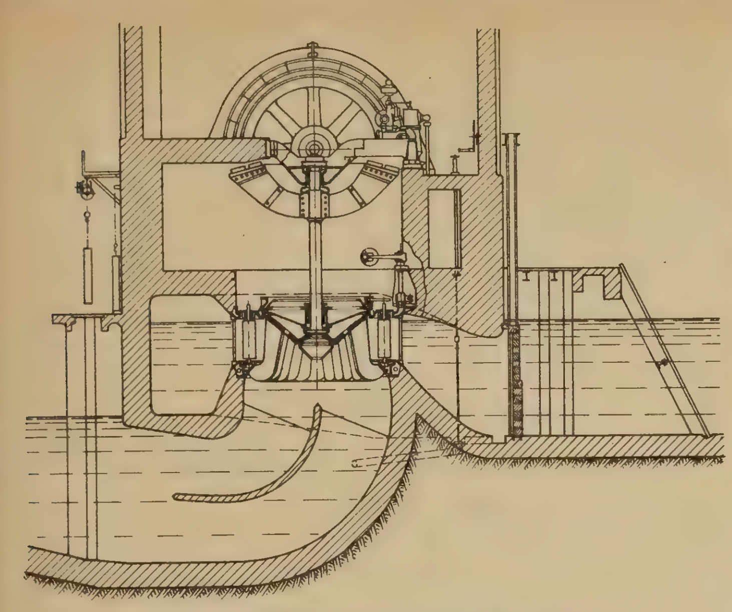
Krupp-Getriebe für liegende Wellen mit feinschriftigen Präzisions-Stahlverzahnungen, rechts- und linksgängigen Schrägzähnen, hohen Übersetzungsverhältnissen und schweren Gestellen, die alle Wellenlager solid erfassen, sind vielfach ausgeführt worden. Neuartig ist die senkrechte Anordnung. Der Rand des Turbinenschachtes ist mit einem gußeisernen Ring eingefaßt, der als Lagerrahmen für das geschlossene Rädergehäuse dient. Ein kräftig gehaltener Deckel schließt dieses ab und trägt das für Turbinenlaufrad und Zahnrad gemeinschaftliche Spurlager.

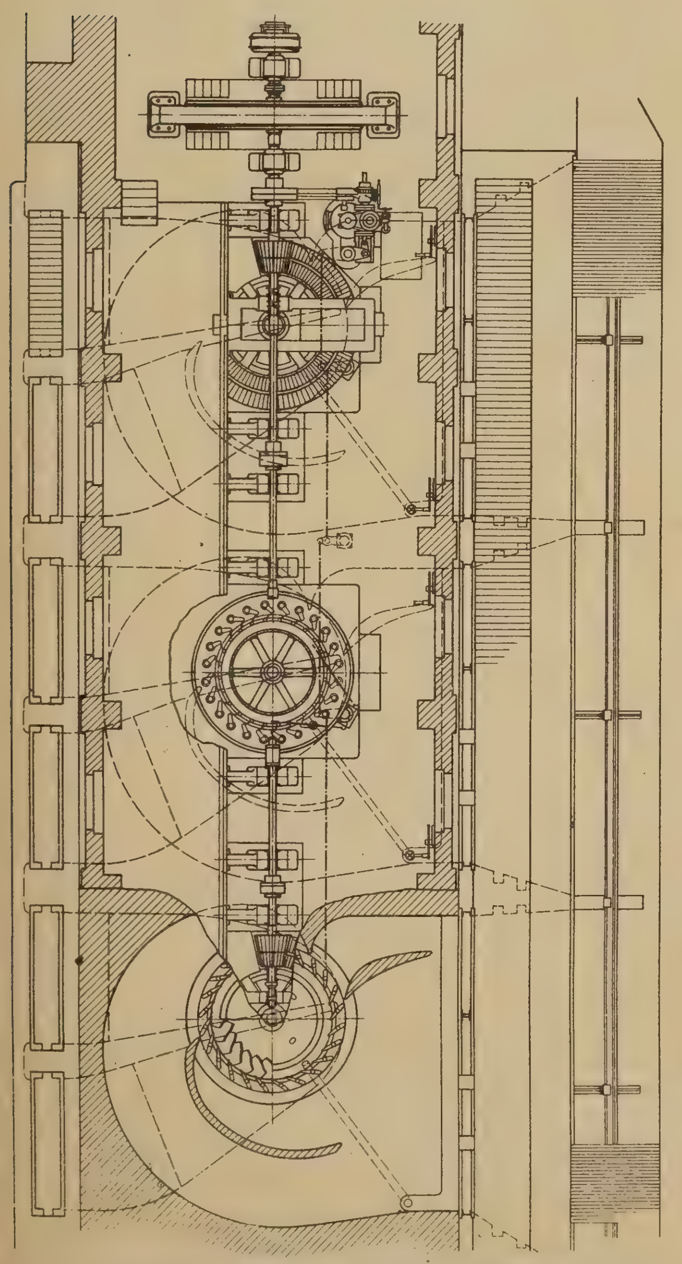
In einem seitlichen Anbau des Rädergehäuses ist das Ritzel gelagert und durch besondern Deckel leicht zugänglich gemacht. Die Ritzelwelle ruht auf einem federnden Spurzapfen, damit sie sich selbsttätig nach dem Gebot der Winkelverzahnung einstellen kann. Da dieser Spurzapfen infolgedessen nicht geeignet ist, auch noch die Last des Magnetrades zu tragen, hat der Stromerzeuger ein eigenes Spurlager auf seinem Tragkreuz bekommen und die Kupplung zwischen Dynamo- und Ritzelwelle ist längsbeweglich ausgeführt worden.

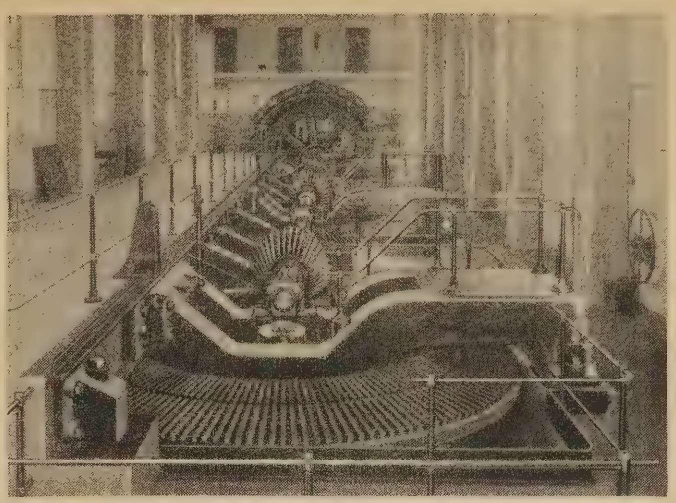
Der Schmierung einer solchen Turbinenanlage muß größere Aufmerksamkeit gewidmet werden als bei liegenden Wellen, insbesondere wenn das Öl noch einer künstlichen Kühlung bedarf. Für das Rädergetriebe befindet sich die Schmierpumpe am unteren Ende der Ritzelwelle, mit dieser unmittelbar gekuppelt; sie holt das Öl aus der Auffangschale, drückt es durch ein Filter und einen Ölkühler und führt es den Spur- und Führungslagern sowie der Verzahnung zu. Die Halslager der Dynamo haben ihre eigene Schmierung mit Pumpe, Rohrleitungen, Kontrollvorrichtungen für richtigen Ölumlauf usw. Schließlich hat das von Voith gelieferte, zwischen Generator und Erreger eingebaute Spurlager eine eigene Ölfüllung, während eine Wasserpumpe die im Spurlager eingebaute Rohrschlange mit Kühlwasser versieht.

Von einer gemeinschaftlichen Öl- und Kühlanlage, die Vereinfachungen gebracht hätte, wurde abgesehen. Zunächst verlangt das raschlaufende und hochbelastete Dynamospurlager ein andres Schmieröl als die Halslager und diese wiederum ein andres als die Zahnräder, und zudem wäre es sehr unangenehm, das ganze Öl erneuern zu müssen, wenn einmal an einer Stelle durch Warmlaufen oder auf andre Weise das Öl verunreinigt würde

[1]) D. R. P. Nr. 220 019.


Abb. 5. Querschnitt durch das Kraftwerk Mainaschaff.


Abb. 6. Grundriß des Kraftwerks Mainachaff. 3 Francisturbinen einen Stromerzeuger antreibend.


Abb. 7. Innenansicht des Kraftwerks Mainaschaff.

Das Leitrad weist noch folgende der Firma Voith geschützte (D.R.G.M. 777 270) Sonderheit auf: Sollte einmal eine Leitschaufel brechen, was vorkommen könnte, wenn z. B. ein Stein oder Brett in den Leitapparat eingedrungen wäre, so müßte zum Ausbauen der Leitschaufeln der sonst übliche Ringdeckel, worin die Schaufelstiele stecken, hochgehoben und dazu der Getriebekasten entfernt werden. Damit dies entbehrlich wird, wurde der Ringdeckel in Einzeldeckel für je zwei Leitschaufeln aufgeteilt.

Abb. 11 ist die Werkstattaufnahme einer ähnlichen Turbine. Nach Abnahme eines Segments des ringförmigen zweigleisigen Laufstegs über dem Reguliergetriebe sowie zweier Regulierhebel und nach Lösen der Schrauben kann ein Leitschaufeldeckel von zwei Mann leicht hochgehoben werden. Die zwei Leitschaufeln sind nun ganz frei und können ebenfalls herausgezogen und im Bedarfsfalle durch andre ersetzt werden.

Im Grundriß, Abb. 10, fallen die Zwischenpfeiler auf, die die Generatorbühne stützen. Sie mußten hierzu ziemlich weit vorgezogen und so angeordnet werden, daß Rädergetriebe, Regler und die verschiedenen Hilfsapparate eine übersichtliche Aufstellung finden konnten.

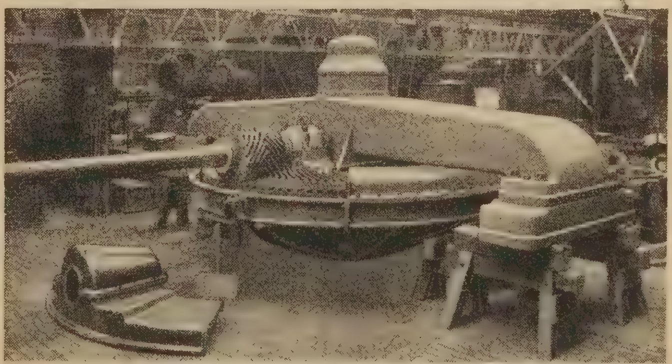
Das Reglerpendel wird mit einem wagerecht laufenden Riemen von der Dynamowelle angetrieben, während die Öldruckpumpe unmittelbaren Antrieb durch Elektromotor hat. Dieser Motor treibt gleichzeitig durch Riemen die Kühlwasserpumpe an, mit der rechts die Luftpumpe für die Fernschwimmer-Regelung des Oberwasserspiegels und links die Ölpumpe für die Schmierung der Dynamolager gekuppelt sind.

Das Elektrizitätswerk Wiblingen bei Heidelberg der Neckar-A.-G. erhält gleichfalls Stirnrädergetriebe mit stehenden Wellen, und zwar für je 3170 PS bei 93,7/750 Uml./min. In einer andern Anlage treibt eine Turbine von 590 PS über ein gleichartiges Getriebe eine Dynamo mit 1000 Uml./min an.

Bereits bei etwas größeren Gefällen lassen sich mit Francis-Schnelläufern Drehzahlen erreichen, die eine unmittelbare Kupplung des Stromerzeugers ermöglichen. Als Beispiel diene das von dem Staatlichen Elektrizitätsamt in Cassel gebaute Werrakraftwerk

„Am letzten Heller“

mit drei Turbinen, von denen die beiden größeren je für 35,5 m^3/s und 1710 PS bei 75 Uml./min konstruiert sind, Abb. 12 und 13. Die spezifische Drehzahl beträgt 465, das Gefälle 4,57 m.


Abb. 8. Kegelräderantrieb mit Winkelzähnen nebst Lagerung für das Kraftwerk Groß-Wohnsdorf in Ostpreußen.

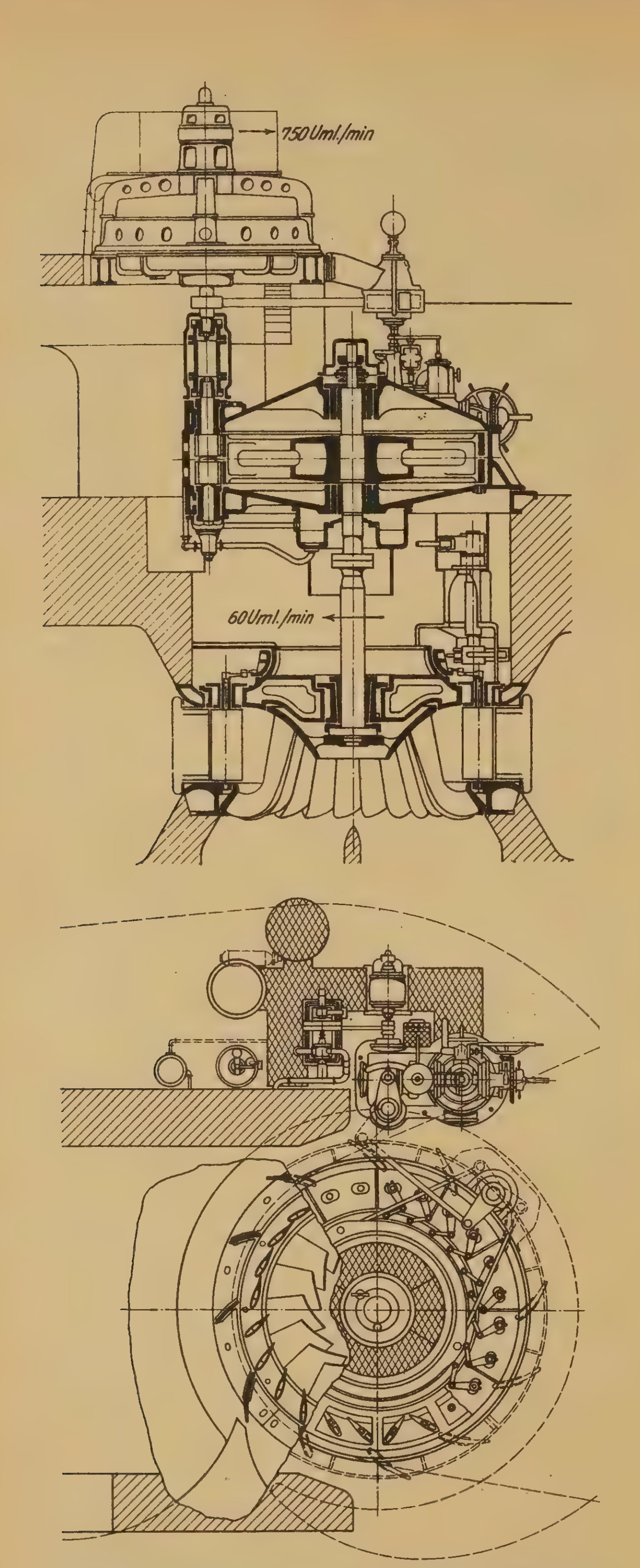


Abb. 9 und 10. Schnitt und Grundriß durch die Turbine und das Stirnradgetriebe und Ansicht des Stromerzeugers des Ruhrkraftwerkes am Hohenstein.

Die Konstruktion der Turbine selbst weicht von dem vorhergehenden Beispiel insofern ab, als auch das Lager auf dem Turbinendeckel eine Umlaufschmierung erhalten hat. Ferner sind die Leitschaufeln der Länge nach durchbohrt, so daß auch die unteren Zapfen mit Fett geschmiert werden können.

Bemerkenswert ist die Aufstellung des Sachsenwerk-Generators. Bisher wurde der Stromerzeuger meist auf den Maschinenhausboden gestellt und deckte damit den Turbinenschacht vollständig zu, was die Unterbringung des Reglerantriebs und den Zutritt zur Turbine usw. sehr unbequem machte. Der Ausweg, den Stromerzeuger auf hohe Füße zu stellen, hat wegen nicht genügender Standfestigkeit keinen Anklang gefunden.

Voith ist deshalb einen Mittelweg gegangen[1]) und hat den Stromerzeuger zur Hälfte auf einen halbkreisförmig ausgeschnittenen Betonsockel und im übrigen auf gußeiserne Füße gestellt. Von den sechs Pratzen ruhen vier auf dem Sockel, während nur zwei zu 2 m hohen Füßen ausgebildet sind, Abb. 12. Auf dem Betonsockel ist der Stromerzeuger fest verankert und von der Gangseite her kann von den Fenstern reichlich Licht in den Turbinenschacht fallen. Dieser ist bequem zugänglich, und unter dem Stromerzeuger lassen sich der Antrieb des Reglers, die Schmierpumpen, Sicherheitsregler, Kühlwasserpumpen usw. leicht bedienbar unterbringen.

Turbinenlaufrad, Welle, Magnetrad und Wasserlast wiegen zusammen 80 000 kg, die von dem zwischen Stromerzeuger und Erreger eingebauten Spurlager, Abb. 14, getragen werden. Letzteres, von Voith geliefert, ist mit beweglichen Schuhen gebaut; ihm wird von einer Umlaufpumpe gekühltes Öl zugeführt. Bei Spurlagern mit geringerer Belastung genügt es, in das Ölbad eine Kühlschlange einzulegen.

Den gleichen maschinellen Aufbau weist das

Jllerkraftwerk Unteropfingen

des Bezirksverbandes Oberschwäbischer Elektrizitätswerke in Biberach a. Riß auf[2]), das sich jedoch von den vorangegangenen durch größere Kraftleistung auszeichnet und infolgedessen Stahl-

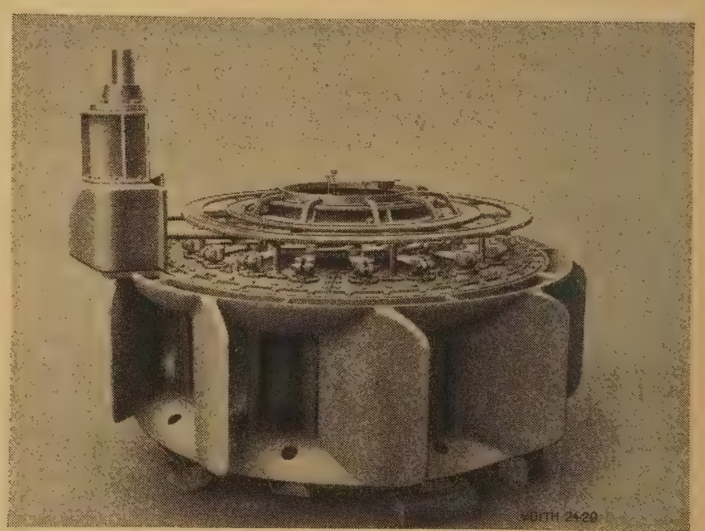


Abb. 11. Leitrad einer stehenden Turbine mit herausnehmbaren Leitschaufeln.

guß-Laufräder erhielt. Die drei Turbinen entwickeln bei 18,85 m Gefäll und 187,5 Uml./min je 5230 PS, die von unmittelbar gekuppelten AEG-Stromerzeugern aufgenommen werden, Abb. 15.

Von den vorgeführten Turbinenausführungen mit stehenden Wellen hat die zuletzt behandelte für hohe Leistungen und mittlere Gefälle große Aussicht auf eine ausgedehnte Anwendung. Ins Auge springt der geringe Raumbedarf und daher billige Bau, die einfache und übersichtliche Anordnung, die vorzügliche Saugrohrentwicklung für Schnelläufer, sowie die geringe Spannweite des Kranes.

2. Francisturbinen mit liegenden Wellen.

Während die Turbinen mit stehenden Wellen meist als Einradturbinen gebaut werden, erleichtert die liegende Welle die Anordnung mehrerer Laufräder auf einer gemeinschaftlichen Welle zur Erreichung höherer Umlaufzahlen. Ein Krümmer mehr im Saugrohr mit etwas Wirkungsgradeinbuße muß in Kauf genommen werden, aber dafür tauscht man doch den großen Vorteil ein, die verschiedenen Laufräder in getrennte Turbinenkammern setzen und unabhängig voneinander beaufschlagen zu können.

Nach der Anordnung, Abb. 16, sind z. B. eine einfache und eine Zwillingsturbine miteinander gekuppelt, deren Schluckfähigkeiten sich wie 1 : 2 verhalten und die in getrennten, durch Schützen absperrbaren Kammern stehen. Zwischen beiden Kammern befindet sich ein Gang mit dem Hauptlager; das Laufrad der einfachen Turbine ist fliegend angeordnet. Bis herab zur halben Beaufschlagung bleibt der Wirkungsgrad der Francis-Turbine gut, und wenn man im vorliegenden Falle nur noch für die halb beaufschlagte einfache Turbine genügend Wasser hat, dann kann die Anlage bis herab auf $^1/_6$ der Höchstwassermenge

[1]) D. R. G. M. Nr. 757 367.
[2]) Z. Bd. 68 (1923) S. 123.

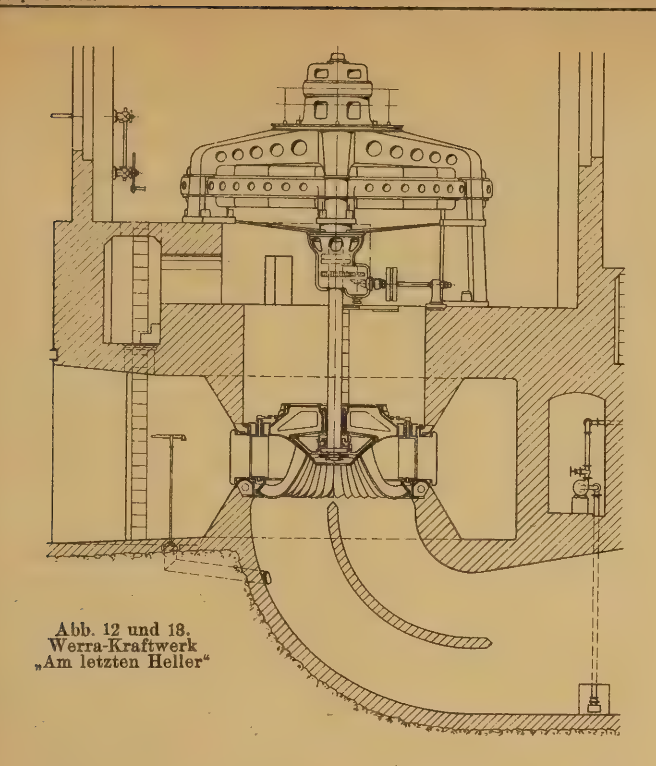
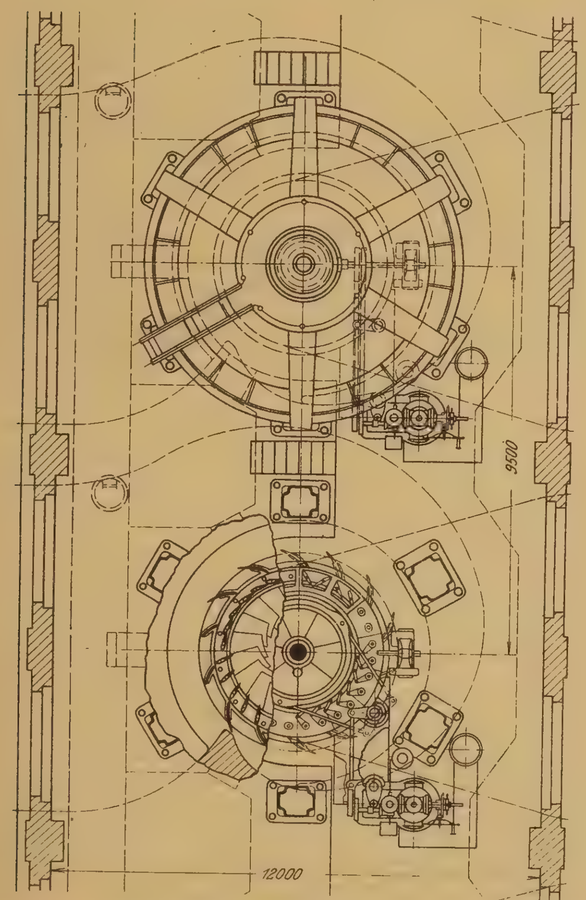


Abb. 12 und 13. Werra-Kraftwerk „Am letzten Heller"



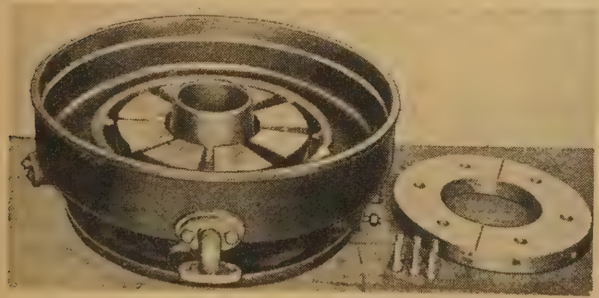


Abb. 14. Spurlager mit beweglichen Schuhen

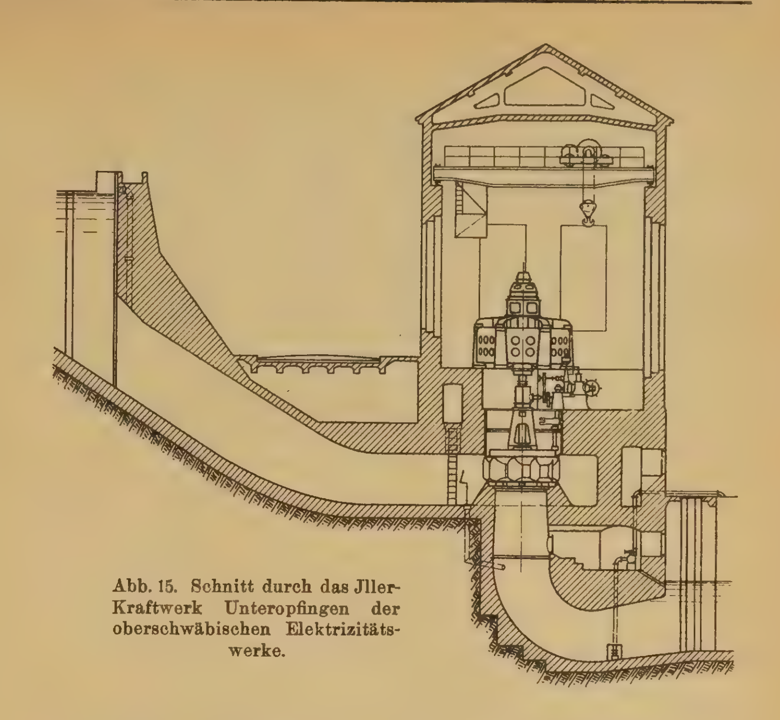


Abb. 15. Schnitt durch das Jller-Kraftwerk Unteropfingen der oberschwäbischen Elektrizitätswerke.

mit gutem Wirkungsgrad betrieben werden. Für die Ausnutzung unsrer kleinen, schwankenden Wasserkräfte ist dies sehr wichtig.

Der Schnitt, Abb. 17, zeigt, wie das Wellenmittel einer solchen Turbine über den Oberwasserspiegel gelegt werden kann, wenn man für eine luftdichte Heberdecke mit den nötigen Luftabsaugevorrichtungen sorgt.

Für höhere Schnelläufer ist die Zweiradturbine beliebt geworden. Sie führt zu getrennten Saugkrümmern mit großen Krümmungshalbmessern, was für die Erzielung eines guten Wirkungsgrades wichtig ist, während bei der Zwillingsturbine der Doppelkrümmer kurzgehalten werden muß, damit die Lagerentfernung nicht zu groß wird.

Als Beispiel großer Zweiradturbinen zeigt Abb. 18 eine der drei 7000 PS-Turbinen des Kraftwerks

Meitingen

am Lech für 15 m Gefälle. Vor und hinter dem schweren Hauptlager mit 375 mm Bohrung sitzen symmetrisch die beiden Laufräder, und zwar möglichst nahe am Lager, so daß die Durchbiegung der Welle, namentlich am Laufradspalt, sehr gering wird: ein recht großer weiterer Vorteil gegenüber der Zwillingsturbine.

Da das Lechwasser viel Sand führt, der die Leitvorrichtungen stark abnützt, wurden diese Turbinen mit Außenregelung gebaut, die der Bedienung der Zapfen und Gelenke halber in einer wasserfreien Kammer untergebracht werden mußte. Diese ist von unten durch Schacht und Gang vom Maschinensaal aus zu erreichen. Die gußeiserne, mehrfach geteilte Bedienungskammer ist bequem abdeckbar, damit man die ganze Turbine mit Hilfe des Bockkranes abbauen kann.

Für das Herausnehmen einer einzelnen Leitschaufel ohne Entfernen des großen Turbinendeckels ist hier eine andre Konstruktion der Firma[1]) benutzt. Auf der Krümmerseite liegen die Leitschaufelzapfen in zweiteiligen Lagern. Nach Wegnahme eines Segments des Wasserführungsschildes, des betreffenden Lagerdeckels, des Regulierhebels und der Stopfbüchse kann die Leitschaufel nach der Krümmerseite hin herausgezogen werden.

Das Gesamtbild der Anlage, Abb. 19, zeigt, wie die beiden einbetonierten Saugkrümmer sich dem Betonbau gut anpassen, so daß sie keine besondere Länge des Turbinenschachtes in Anspruch nehmen. In der Maschinenhalle sind zwei Wasserstandzeiger angeordnet, die nach Art der Voithschen pneumatischen Fernschwimmervorrichtung in Glasrohren den jeweiligen Stand von Ober- und Unterwasserspiegel in natürlicher Bewegungsgröße wiedergeben.

Die Werkstattaufnahme der teilweise abgebauten Turbine, Abb. 20, läßt die Regulierwelle, die Hebel und Zugstangen zum Verstellen der Regulierringe, das fliegende Laufrad sowie die durch ein Stehblech versteifte Wasserführungswand im Krümmer erkennen.

[1]) D. R. G. M. Nr. 650 340.

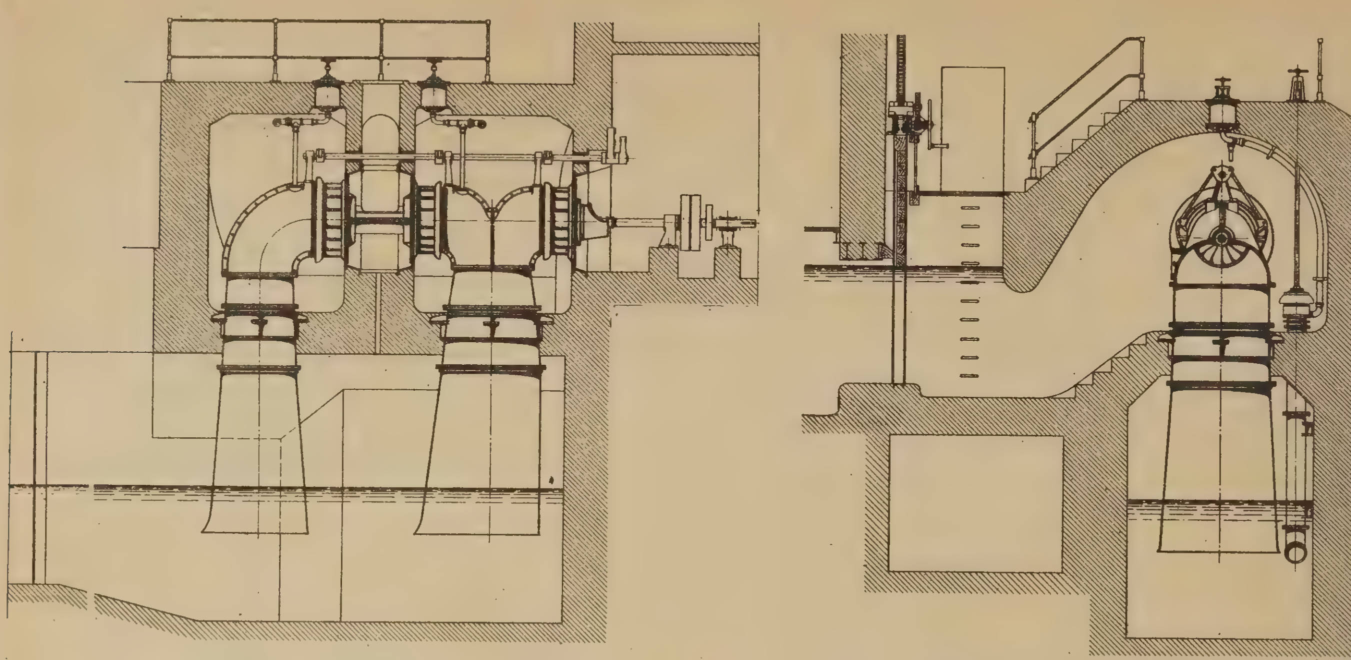


Abb. 16. Einbau einer Dreiradturbine in zwei Heberkammern.

Abb. 17. Längsschnitt durch eine Kammer mit Hebereinlauf.

Die Geschwindigkeitsregler sind von normaler Voithscher Bauart[1]). Während Öldruckpumpen und Ölbehälter im Gestell des Reglers untergebracht sind, wurden die Windkessel in einem Gang unter dem Maschinenhausfußboden aufgestellt. Es war hierfür weniger die Platzfrage als vielmehr der Gesichtspunkt maßgebend, daß der Anblick des Maschinensaals nicht durch die hohen und nüchtern wirkenden Windkessel beeinträchtigt werden sollte. Durch eine Kontrolleitung sind oben am Regler Druck- und Ölstand im Windkessel jederzeit erkennbar. Alle Regler und Windkessel sind durch an der Decke des Ganges entlang geführte Leitungen verbunden, so daß größte Betriebsicherheit gewährleistet ist. Steht kein Kellerraum zur Verfügung, dann genügt es, den Windkessel etwa zur Hälfte in den Boden zu versenken, wodurch er nicht mehr aufdringlich wirkt.

[1]) z. B. Bd. 56 (1912) S. 1239, Bd. 60 (1916) S. 421, Bd. 62 (1918) S 297.

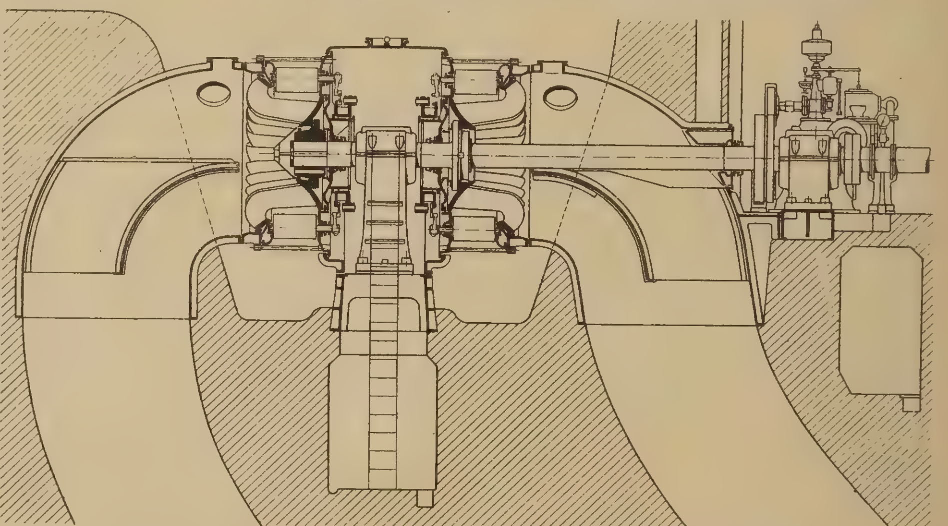


Abb. 18. Schnitt durch die Zweiradturbine des Kraftwerks Meitingen am Lech.

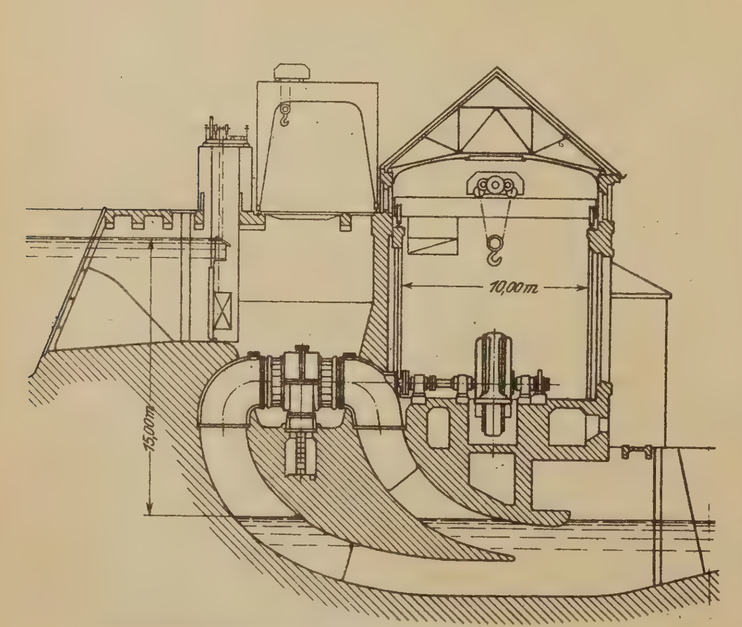


Abb. 19. Schnitt durch eine Turbinenkammer des Kraftwerks Meitingen am Lech.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß die Firma neben den Reglern mit Windkesseln für kleinere Reglerarbeiten auch windkessellose Regler, sogen. Durchflußregler, baut, da diese etwas billiger als die Windkesselregler sind. Die Frage, ob es zweckmäßig wäre, auch für große Reglerarbeiten Durchflußregler zu bauen, und ob damit bei großen Turbinenanlagen ein bequemerer und besserer Betrieb als mit Windkesselreglern erreicht werden könnte, muß verneint werden. Der Durchflußrregler braucht bei gleicher Schlußzeit, Reglerarbeit und Öldruck eine Pumpe von mindestens fünfmal so großer Fördermenge als ein Windkesselregler, und meist schaltet man ein oder zwei Pumpen für langsame Reglerbewegungen vor, um die große Pumpe zu schonen. Letztere erfordert jedenfalls bei großen Reglerarbeiten einen verhältnismäßig schweren Räderantrieb, sofern nicht besondere Pumpenmotoren aufgestellt werden, während für die Pumpe des Windkesselreglers ein leichter Riemenantrieb von der Turbine aus genügt. Windkesselregler verlangen dank dem geringen Kraftbedarf der Pumpe erst über 5000 mkg Reglerarbeit hinaus eine Wasserkühlung des Öls, die beim Durchflußregler bereits bei den kleinen Größen einsetzen muß.

Begründete Bedenken gegen die Windkessel bestehen nicht. Sie sind durchaus betriebsicher und ihre Versorgung mit Druckluft erfordert nur geringe Aufmerksamkeit. Dagegen hat der stets vorhandene Vorrat an Drucköl erhebliche Vorzüge. Die Pumpen eines Werkes können untereinander zur Unterstützung verbunden werden und bilden eine gegenseitige Aushilfe. Die Turbinen können ohne weiteres mit Öldruck angelassen werden, was bei Durchflußreglern nur unter Verwendung eigener Motoren

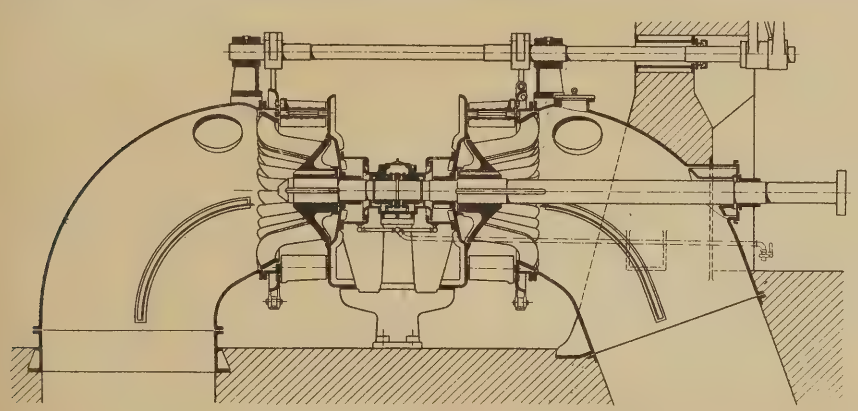
für den Pumpenantrieb möglich ist. Auch lassen sich an den Windkessel mit Drucköl betätigte Absperr- und Sicherheitsvorrichtungen anschließen. Endlich ist beim Windkesselregler im Gegensatz zum Durchflußregler die Schlußzeit an Ort und Stelle je nach dem Betriebsbedürfnis beliebig einstellbar.

Fröndenberg.

Sind die Turbinen, namentlich aber das Gefälle kleiner, dann ist es nicht mehr möglich, einen Zugang von unten zum Mittellager zu schaffen, dies muß vielmehr frei in die offene Wasserkammer gestellt werden.

Drei solche Zweiradturbinen, Abb. 21, wurden für das Kraftwerk der Stadt Fröndenberg a. d. Ruhr geliefert und für folgende Verhältnisse konstruiert: Gefälle 7,75 m, Wassermenge 15,4 m³/s, 215 Uml./min, Leistung 1230 PS. Es sind Schnelläufer, deren Wirkungsgrad in Mitleidenschaft gezogen worden wäre, hätte man durch Zugänge zum Mittellager von oben oder von der Seite die freie Wasserströmung behindert.

Während bisher solchen Lagern Öl durch eine Schmierrohrleitung zugeführt wurde und eindringendes Wasser vorzeitige Abnutzungen des Lagers verursachte, wurde es hier als Ringschmierlager besonderer Bauart ausgeführt: An Stelle der losen Schmierringe wählte man der Betriebsicherheit wegen den auf der Welle festen Ring, der gleichzeitig als Kamm die axiale Führung der Turbinenwelle übernimmt. Zwischen Lager und Turbinendeckeln ist beiderseits ein Luftraum eingeschaltet, der gegen die Deckel hin durch Stopfbüchsen abgedichtet ist. Die beiden Lufträume stehen an ihren tiefsten Punkten durch eine Kontrolleitung mit dem Maschinenhaus in Verbindung. An der Mündung dieser Leitung würde sich ein Ölverlust des Lagers sofort zeigen und zum Nachsehen Veranlassung geben. Ferner würde ein Lufteinziehen die Undichtheit der Stopfbüchsen verraten. Die Mündung der Kontrolleitung ist jedoch durch einen Hahn verschlossen, der das etwaige Lufteinziehen unterbindet, so daß ein Nachdichten der Stopfbüchsen auf gelegene Zeit verschoben werden kann. Nur einmal täglich ist der Hahn zur Probe zu öffnen. Diese der Firma Voith geschützte Anordnung[1]) hat sich sehr gut bewährt.


Abb. 21. Zweiradturbine im Kraftwerk Fröndenberg a. d. Ruhr.

Dank der günstigen Lastverteilung der Laufräder ist ein weiteres Turbinenlager nicht erforderlich, sondern die Turbinenwelle ist trotz ihrer Länge einfach an der Siemens-Schuckert-Dynamo angeflanscht.

Eine von den drei Zweiradturbinen ist durch eine Zwischenwand in zwei Turbinen abgeteilt, die einzeln beaufschlagt werden können, so daß eine Ausnützung der Wasserkraft bis herab zur Wasserklemme mit bestem Wirkungsgrad gewährleistet ist.

Gerade die doppelte Leistung wie die Turbinen für Meitingen, nämlich 14 000 PS bei 107 Uml./min und 13,5 m, also etwas niedrigerem Gefälle, weisen die Turbinen des Kraftwerks

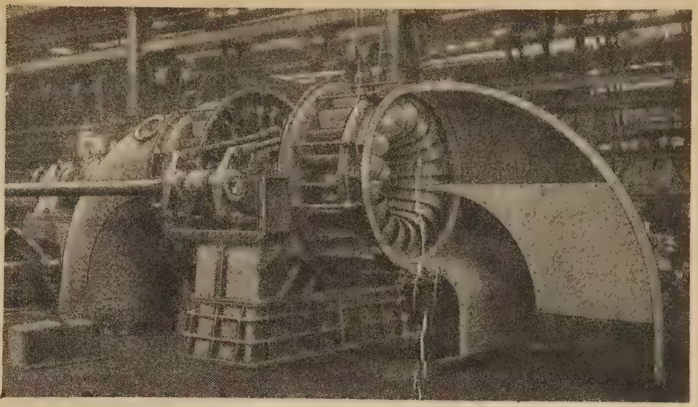
Raanaasfoss

in Norwegen auf. Diese, der Wassermenge von 93 m³/s nach größten Turbinen Europas sind als Zwillingsturbinen gebaut und bei ihren großen Abmessungen bot es keine Schwierigkeit, für die Welle ein während des Betriebes zugängliches Mittellager zwischen die beiden Hälften des Doppelsaugkrümmers zu setzen und sich dadurch eine mäßige Lagerentfernung mit ihren Vorteilen zu verschaffen.

Die die Raanaasfoss-Turbinen auf S. 368 dieses Heftes ausführlich beschrieben werden, kann von einer Wiedergabe des betreffenden Abschnittes des Vortrages abgesehen werden.



[1]) D. R. G. M. Nr. 751 686.


Abb. 20. Zweiradturbine Meitingen mit abgedecktem Bedienungsraum und halbem Saugkrümmer.

Mauer.

Für mittlere und hohe Gefälle behauptet die Francisturbine im Spiralgehäuse ihre Vorherrschaft. Sie ist entschieden die wohlgefälligste Turbinenform, läßt sich vermöge ihrer leichten Anpaßfähigkeit fast überall geschickt aufstellen und zeichnet sich dank der guten Wasserführung durch hohen Wirkungsgrad aus

Die für das Kraftwerk an der Bobertalsperre bei Mauer gelieferte Doppel-Spiralturbine, Abb. 22, mit wagrechter Welle war noch 1923, was die Abmessungen anbelangt, die größte im Betrieb befindliche Spiralturbine Deutschlands. Sie vervollständigt den Ausbau dieses Kraftwerks des Provinzialverbandes von Schlesien, der 12 Jahre vorher mit vier Voithschen Zwillings-Spiralturbinen von je 1800 PS begonnen wurde,

Ihre Leistung beträgt 4860 PS bei 46,2 m Gefälle, 10 m³/s Wassermenge und 375 Uml./min. Das gußeiserne zweiteilige Spiralgehäuse hat 1,5 m Einlaufweite und 4,3 m wagrechten Durchmesser; der eingesetzte Stahlguß-Traversenring und der übrige Aufbau mit Außenregelung sind aus früheren Veröffentlichungen bekannt. Das Eindringen von Luft in die Saugkrümmer verhindern Labyrinthstopfbüchsen, die durch das Spaltwasser des Laufrades gesperrt werden. Es wird dadurch ein vollkommener Luftabschluß erzielt und die Welle kann nicht durch Packmaterial angegriffen werden.

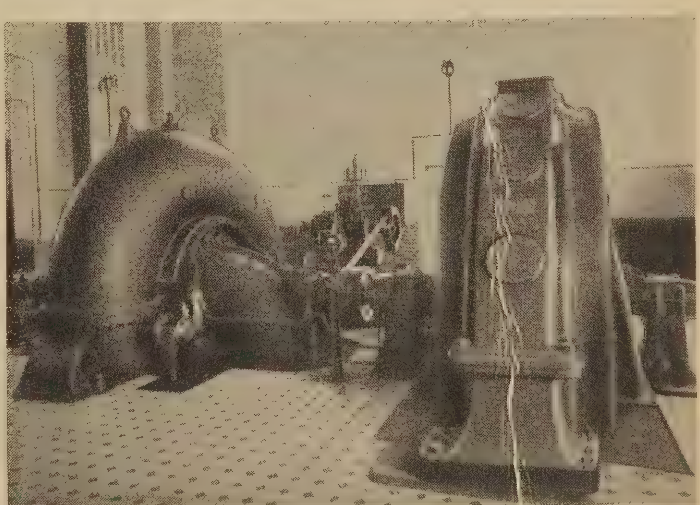
Für große Wassermengen bei mittleren Gefällen und entsprechenden Geländeverhältnissen wählt man vielfach Stirnkessel-Zwillingsturbinen, namentlich bei mehreren nebeneinanderliegenden Turbinen, weil sich die Rohrleitungen ohne Krümmer an diese Turbinen anschließen lassen.

Solche Wasserkräfte finden wir u. a. in Bayern, und im Frühjahr 1923 wurde das Großkraftwerk

Hirten-Holzfeld

an der Alz[2]) mit fünf Turbinen für 61 m Gefälle, je 15,4 m³/s Wasser, 500 Uml./min und je 10 000 PS Leistung dem Betrieb übergeben.

[2]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 462.


Abb. 22. Innenansicht des Kraftwerks Mauer in Schlesien (Doppel-Spiralturbine).

In dem Stahlblechkessel, Abb. 23, mit 3200 mm l. W. sind der Stahlgußboden und der gußeiserne kräftig verrippte Einsteigschacht eingenietet. Laufräder und Leitschaufeln bestehen aus Stahlguß. Die Turbine hat nur das im Einsteigschacht untergebrachte wassergekühlte Kammlager, während das andre Ende der Turbinenwelle von dem Lager des Siemens-Schuckert-Stromerzeugers mitgetragen wird.

Wellenstopfbüchsen sind bei dieser Anlage ganz vermieden, das Spaltwasser wird vielmehr durch ein Labyrinth gedrosselt und durch eine Abfangvorrichtung mit Rohrleitung abgeführt. Der Regler greift mittels Zugstangen an den beiden seitlich angeordneten Regulierwellen der Turbine an, Abb. 24.

Das Wasserschloß enthält einige bemerkenswerte Einrichtungen. Turbinenanlagen dieser Größe haben vielfach vor der Turbine eine Absperrvorrichtung: Drosselklappe oder Schieber, am Rohreinlauf eine selbsttätige Schnellschlußvorrichtung und außerdem die gewöhnliche Schütze. Hier sind alle drei Absperrvorrichtungen durch eine einzige Schütze ersetzt worden, auf deren Konstruktion umso größere Sorgfalt verwendet wurde. Die Schützentafel, Abb. 25, läuft auf Rollen und ist derart beschwert, daß sie, sich allein überlassen, bei vollem einseitigen Überdruck sicher bis auf die Sohle fällt und abschließt.

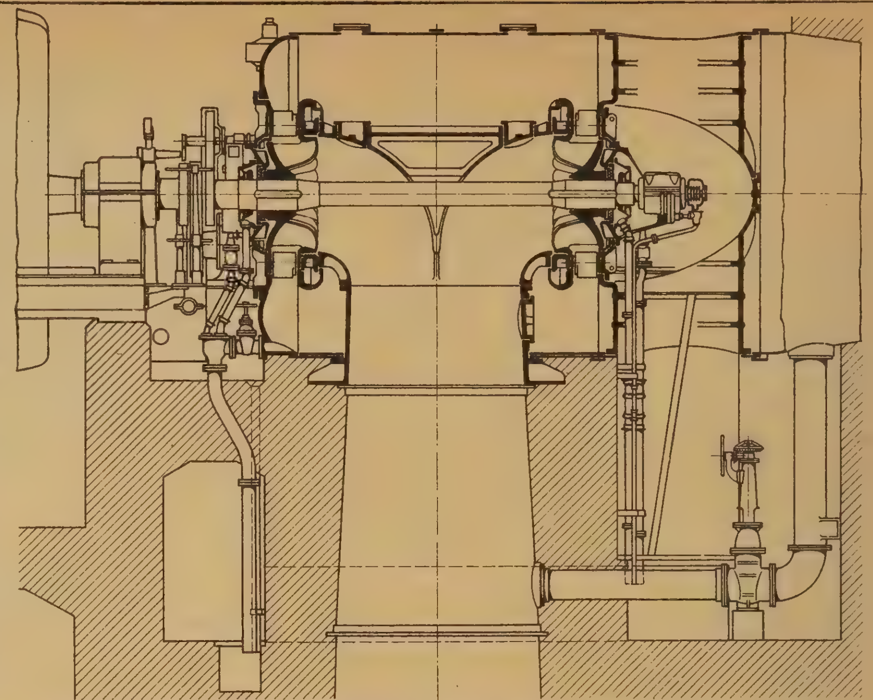


Abb. 23. Schnitt durch die 10 000 PS-Stirnkesselturbine des Alzwerkes Hirten-Holzfeld.

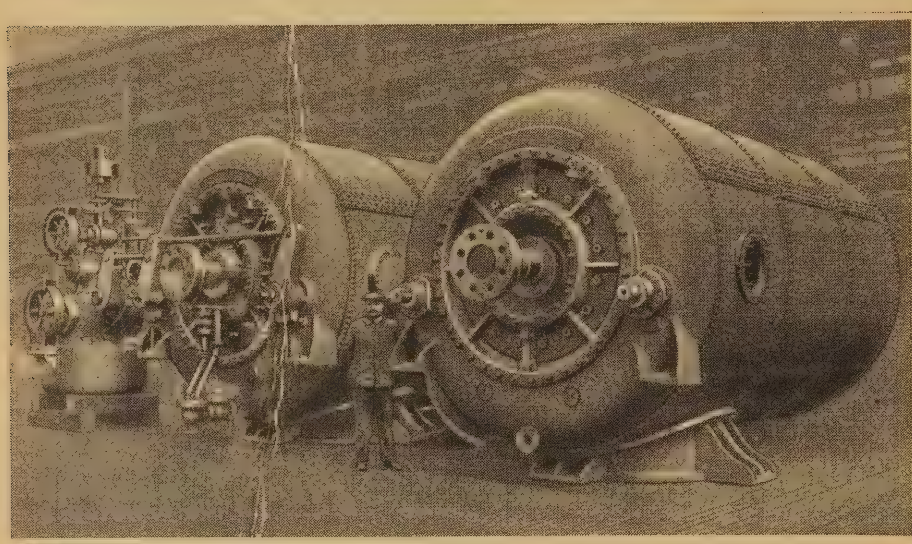


Abb. 24. Zwei der fünf Stirnkesselturbinen für das Alzwerk Hirten-Holzfeld an der Salzach.

Gehoben wird die Schütze von einer elektrisch betriebenen Seilwinde, deren Seil über eine hochgelegene Rolle läuft, damit sich die Tafel zum Nachsehen und Schmieren bis über den Fußboden heben läßt. Gesenkt wird die Schütze stets durch Auskuppeln des Windwerkes, worauf sie, gebremst durch eine Schleuderbremse, rasch hinabgleitet. Zum Ausklinken des Windwerks dient eine Druckknopfsteuerung, die entweder am Standort des Wärters im Wasserschloß oder am Schaltbrett der Zentrale oder vom Maschinensaal aus betätigt wird. Außerdem kann es auf mechanischem Weg an der Winde selbst ausgeklinkt werden oder vom Rohrbruchautomaten aus bei Überschreitung der normalen Wassergeschwindigkeit im Druckrohr. Durch dieses Zusammenlegen der Abschlußorgane in eines ist eine wesentliche Ersparnis erzielt und die Betriebsicherheit insofern erhöht worden, als die Sicherheitsvorrichtung bei jedem betriebsmäßigen Abstellen der Rohrleitung benutzt werden muß und damit stets unter Aufsicht bleibt. Als Notabschluß bei Ausbesserungen dienen eiserne Tafeln, die von einem Bockkran herangeführt und in die Dammfalze eingesetzt werden.

Abb. 26 ist ein Schnitt durch den Leerschuß mit Leerlauf-Rohrleitung. Die Vereinigung einer Grundablaßschütze mit darüberliegender selbsttätiger Stauklappe nützt den Raum recht günstig aus. Die von Voith gebauten Stauklappen haben sich sehr gut bewährt und halten den normalen Stauspiegel mit praktisch ausreichender Genauigkeit zwischen höchster und tiefster Klappenstellung ein.

Der großen Wassertiefe entsprechend hat der Feinrechen 9 m Stablänge erhalten und ist infolgedessen nicht mehr von Hand zu reinigen. Daher wurde eine Rechenreinigungsmaschine aufgestellt, die das Rechengut in einen unter ihr durchlaufenden Wagen entleert. Um die schwerfällige und teure Bauart andrer Rechenreinigungsmaschinen zu umgehen, bei denen die Harke an einer starren, den Holzstiel der Handharke ersetzenden Konstruktion befestigt ist, hat sich Voith eine Rechenreinigungsmaschine patentieren lassen[1]), bei der die Rechenharke lediglich durch Seile betätigt wird, Abb. 25 und 27.

Der die Harke tragende Rechenwagen besteht aus einer schweren Welle mit zwei losen Rädern, die auf dem Rechen auf- und ablaufen. An den oberen und unteren Enden zweier Doppelhebel greifen Drahtseile an, die über Rollen laufend mit der elektrisch betriebenen Winde in Verbindung stehen. Zum Bedienen ist nur ein Steuerhebel erforderlich. Steht dieser in Mittelstellung, so hängt der Rechenwagen nur an den oberen Seilen und die Harke ist vom Rechen abgeschwenkt. Ein Druck auf den Hebel nach unten und der Rechenwagen gleitet rasch in die Tiefe. Die Aufwärtsbewegung des Rechenwagens wird durch Anheben des Steuerhebels eingeleitet. Dabei werden die unteren Seile angezogen und drücken die Harke gegen den Rechen, das Rechengut vor sich herschiebend. Ist der Wagen oben angekommen, dann rückt die Winde selbsttätig aus, gleichzeitig macht

[1]) D. R. P. Nr. 376 003.

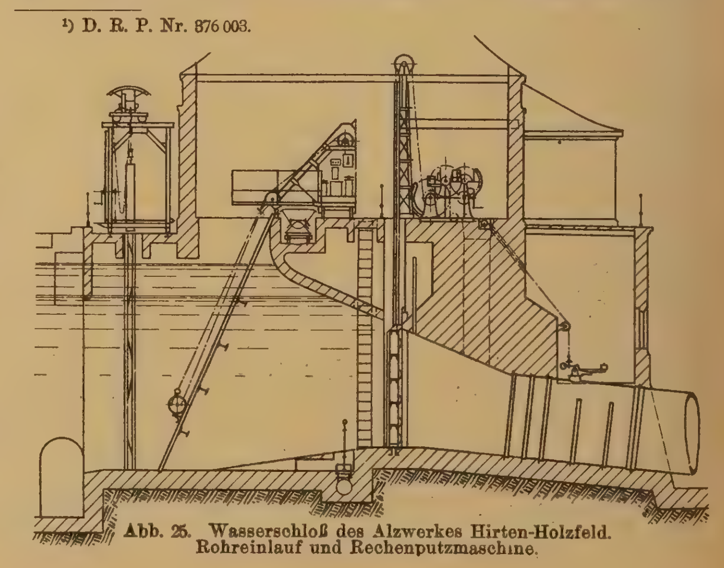


Abb. 25. Wasserschloß des Alzwerkes Hirten-Holzfeld. Rohreinlauf und Rechenputzmaschine.

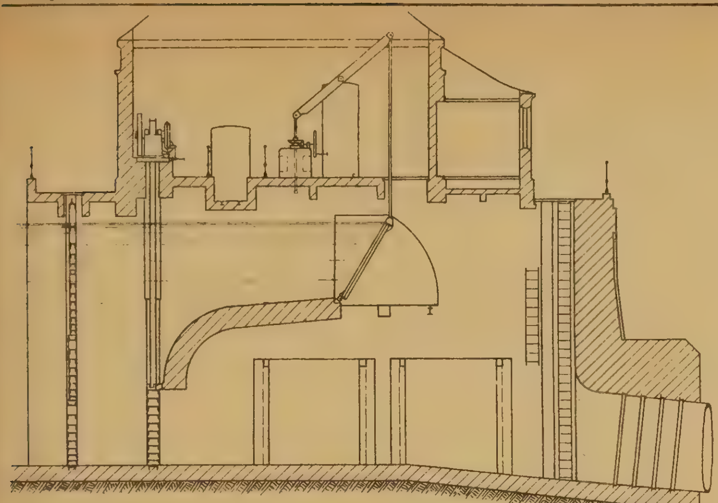


Abb. 26. Wasserschloß des Alzwerkes Hirten-Holzfeld, Grundschütze und selbsttätige Entlastungsklappe im Leerschuß.

die Harke eine kurze Schwenkung nach oben und läßt das Rechengut in den bereitgestellten Abfuhrwagen fallen. Zum Längsfahren ist ein besonderer Elektromotor eingebaut.

Trotz der großen Wassertiefe hat sich die Rechenreinigungsmaschine bisher anstandlos bewährt. Sie war natürlich vorher, seit 1919, in kleinerer Ausführung ausgeprobt worden, wozu die Voithsche Turbinenversuchsanstalt in Hermaringen an der Brenz reichlich schwere Bedingungen bot. Auch das oben behandelte Ruhrkraftwerk Hohenstein hat eine Rechenputzmaschine erhalten.

3. Flügelradturbinen — Kaplanturbinen.

Die Anwendung der Francisturbine erreicht aus Gründen des Wirkungsgrades ihre wirtschaftliche Grenze bei spezifischen Drehzahlen, die etwa bei 500 liegen. Von da ab beginnt das Gebiet der Flügelräder oder Propellerturbinen, die in verschiedenen Formen und unter verschiedenen Konstrukteurnamen seit einiger Zeit bekanntgeworden sind. Sie erreichen in der Kaplanturbine mit drehbaren Laufradschaufeln diejenige Bauart, die nicht nur die höchsten Drehzahlen, sondern auch eine hochliegende und dabei sehr flache Wirkungsgradkurve ergibt.

Die Kaplanturbine mit Drehschaufeln weist somit in der Möglichkeit, einen hohen Durchschnittswirkungsgrad bei hoher spezifischer Drehzahl zu erzielen, Eigenschaften auf, die keiner andern der bisher bekannten Turbinenarten zukommen. Es wäre allerdings verfehlt, hieraus den bisweilen auftauchenden Schluß zu ziehen, daß diese Turbinenarten die Francisturbine verdrängen werden; denn das Anwendungsgebiet der hohen Schnelläufer ist beschränkt, nicht nur hinsichtlich Aufstellungsart und Gefälle, sondern auch, und zwar vornehmlich für die Flügelräder mit festen Schaufeln, hinsichtlich schwankender Wassermengen.

Die Firma Voith ist seit Jahren mit der Entwicklung der Flügelräder beschäftigt und im Besitz eines reichhaltigen Materials über die Eigenschaften derartiger Räder. An Modellflügelrädern mit festen Schaufeln wurden bei wissenschaftlich ein-

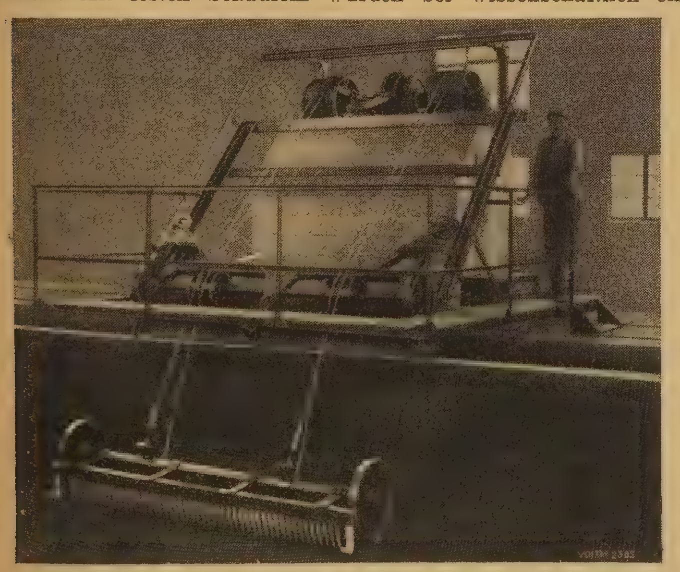


Abb. 27. Rechenputzmaschine für das Wasserschloß der Alzwerke Hirten-Holzfeld.

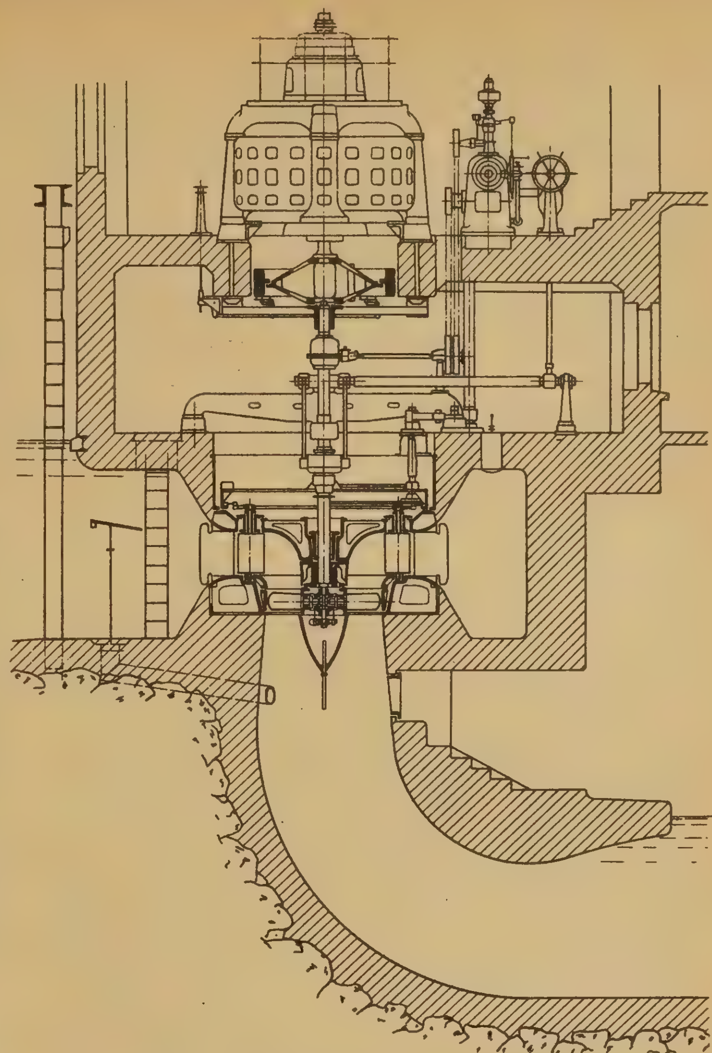


Abb. 28. Kaplanturbine der Anlage Siebenbrunn.

wandfreien Meßverfahren Wirkungsgrade von über 88 vH erreicht. Dabei fielen allerdings die Wirkungsgradkurven mit abnehmender Beaufschlagung um so steiler ab, je größer die spezifische Drehzahl der Räder war. Es hat sich weiterhin gezeigt, daß die Erfahrungen an Flügelrädern mit festen Schaufeln auch auf die Kaplanturbine übertragen werden können, welcher Umstand zu einer wesentlichen Verbesserung der Wirkungsgrade gegenüber den in dieser Zeitschrift[1]) vom Kaplankonzern veröffentlichten führte.

Die damalige Veröffentlichung geschah nicht mit der Absicht, damit eine besondere Reklame zu betreiben, sondern um den Fachkreisen, die durch übereilte Äußerungen beunruhigt waren, einen sachlichen und objektiven Bericht über den Stand der Angelegenheit zu geben.

Sie fand jedoch eine abfällige Kritik, hauptsächlich von amerikanischer Seite. Es wird auf die Wirkungsgrade hingewiesen, die in Amerika mit Flügelrädern erreicht wurden, und der europäische Turbinenbau als rückständig erklärt[2]).

Diese Kritik ist zum mindesten einseitig. Ganz abgesehen davon, daß europäische Ingenieure über Flügelradkonstruktionen verfügen, deren Wirkungsgrad, wie bereits erwähnt, den amerikanischen keineswegs nachsteht, wird bei der Beurteilung der Berichte des Kaplankonzerns der flache Verlauf der Kurve des betr. Rades vollständig übergangen, also dessen verhältnismäßig hoher Durchschnittswirkungsgrad, den keine der bisher veröffentlichten amerikanischen Konstruktionen aufweist. Für eine große Zahl amerikanischer Anlagen, in denen die ungeheuren Wassermengen der Flußläufe nur zum Teil oder mit einer entsprechend großen Zahl von Einheiten ausgenützt werden, ist die flache Kurve von geringerer Wichtigkeit als die hochliegende Spitze, während für die europäischen, vor allem die deutschen Wasserverhältnisse gerade die flache Wirkungsgradkurve vielfach die größte Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat.

Wenn bei der Firma Voith im Verkauf dieser Typen noch Zurückhaltung geübt wurde, so hat dies seinen Grund darin,

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 444.
[2]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 908, Bd. 68 (1924) S. 112.

daß nirgends zeitlich ausreichende Betriebserfahrungen vorlagen, die die äußerst wichtige Frage der Korrosionsgefahren unter allen in Betracht kommenden Verhältnissen, insbesondere für feste Schaufeln, genügend klären und bezüglich der Drehschaufeln ein einigermaßen bestimmtes Urteil über die Lebensdauer der Getriebe ermöglichen. Immerhin kann heute bereits über einige Ausführungen berichtet werden.

Siebenbrnnn.

J. M. Voith in St. Pölten erhielt den Auftrag auf zwei senkrechtachsige Kaplan-Turbinen, Abb. 28, die bei 5,4 m Gefälle je 925 PS zu leisten haben. Die Wassermenge beträgt je 16,4 m³/s, die Drehzahl 250 Uml./min. Die spezifische Drehzahl berechnet sich zu $n_s = 930$. Die Turbinen wurden in Heidenheim entworfen, in St. Pölten ausgeführt und stehen im Kraftwerk Siebenbrunn der Papierfabrik Steyrermühl in Ober-Österreich im Betrieb.

Nach einer ausprobierten Modellturbine mit 250 mm Laufraddurchmesser wurde eine Versuchsturbine mit 700 mm Dmr. angefertigt und in Hermaringen untersucht. Erst nachdem diese

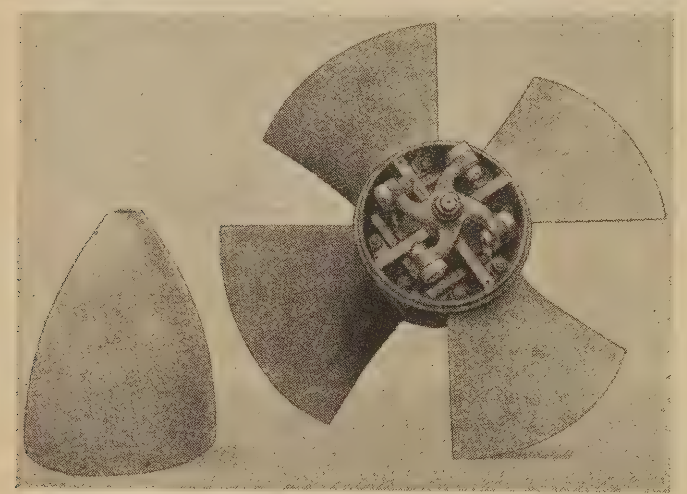


Abb. 29. Flügelrad der Kaplanturbine für Siebenbrunn mit geöffneter Laufradnabe, rechts die Spitzkappe.

in bezug auf Schnelligkeit, Wirkungsgrad sowie Saugrohrwirkung bei verhältnismäßig großer Saughöhe befriedigte, konnte die Konstruktion der Siebenbrunner Turbinen mit 1900 mm Laufrad-Dmr. zielbewußt in die Hand genommen werden.

Leitrad mit Außenregelung und Betonspirale sind denen der eingangs beschriebenen Francisturbinen ähnlich, nur wurden einzelne Teile im Hinblick auf möglicherweise auftretende Korrosionen mit auswechselbaren Schutzringen versehen.

Der konstruktiv interessanteste Teil ist das Laufrad mit den vier während des Betriebes drehbaren Flügeln, Abb. 29. In dem geteilten gußeisernen Laufradkörper finden die zylindrischen Stiele der Flügel ihre Lagerung. Sie bestehen aus Bronze von hoher Festigkeit und Dehnung. Jeder Stiel trägt zwischen den beiden Lagerstellen einen Kamm, der gleichzeitig als Kurbel für den Angriff der Lenker ausgebildet ist. Ein Mitnehmerkreuz erfaßt die vier Lenker und ist am untern Ende einer Regulierstange angeschraubt, die in der ausgebohrten Turbinenwelle aufsteigt. Am oberen Ende der Stange hat die Turbinenwelle einen Schlitz mit Querkeil, der die Stange mit dem inneren, umlaufenden Teil der Reglermuffe verbindet. Die erheblichen axialen Kräfte werden durch ein Doppeldruck-Kugellager auf den nichtumlaufenden Teil der Muffe übertragen, die durch Hebel und Wellen in bekannter Weise mit dem Geschwindigkeitsregler verbunden ist.

Da für besten Wirkungsgrad jeder Leitschaufelstellung eine bestimmte Flügelstellung zugeordnet werden muß, hat der Regler zwei Servomotoren sowie eine senkrechte und eine wagrechte Regelwelle erhalten, von denen die eine die Leitschaufeln, die andre die Flügel regelt. Durch eine besondere Steuereinrichtung wird bewirkt, daß der Regler die zusammengehörigen Stellungen selbsttätig einstellt. Nach den Abnahmeversuchen liegt der Wirkungsgrad zwischen voller und ⅓ Beaufschlagung über 80 vH und erreicht als Größtwert 87,5 vH.

Für die Anlage

Auerhammer

im sächsischen Erzgebirge hat Voith die ersten Kaplan-Turbinen Deutschlands geliefert. Die Räder wurden in der Versuchsanstalt Hermaringen in Originalgröße und unter dem gleichen Druck- und Sauggefälle geprüft, mit denen sie in der Anlage selbst zu arbeiten haben.

Die beiden Turbinen, Abb. 30, sind für 4,8 m Gefälle, je 2 m³/s und 500 Uml./min als Schachtturbinen mit liegenden Wellen ausgeführt. Das Gefälle kann bis 5,64 m ansteigen, wobei die Turbinen mit 2,6 m Sauggefälle zu arbeiten haben.

Das Laufrad ist fliegend angeordnet, die Welle wird von einem mit Wasser gekühlten Turbinenlager gestützt, das auch den Wellenschub aufzunehmen hat, und ist mit der Dynamowelle starr gekuppelt. Der Bau des Laufrades mit den drehbaren Flügeln und der Reglermuffe ist grundsätzlich der gleiche wie bei der Turbine Siebenbrunn. Der Geschwindigkeitsregler hat hier jedoch zwei wagrechte Wellen, die eine zum Verstellen der Leitschaufeln, die andre für die Laufradflügel; die Öffnung der Leitkanäle wird von einem den Regler beeinflussenden Voithschen Fernschwimmer nach der jeweils vorhandenen Wassermenge begrenzt.

Mit Rücksicht auf die stark wechselnde Wassermenge wurde die Schaufelkonstruktion so gewählt, daß der günstigste Wirkungsgrad von 86,5 vH zwischen ½ und ¾ Belastung liegt, Abb. 31. Bei Vollast mit 106,5 PS beträgt er rd. 83,5 vH. Bei

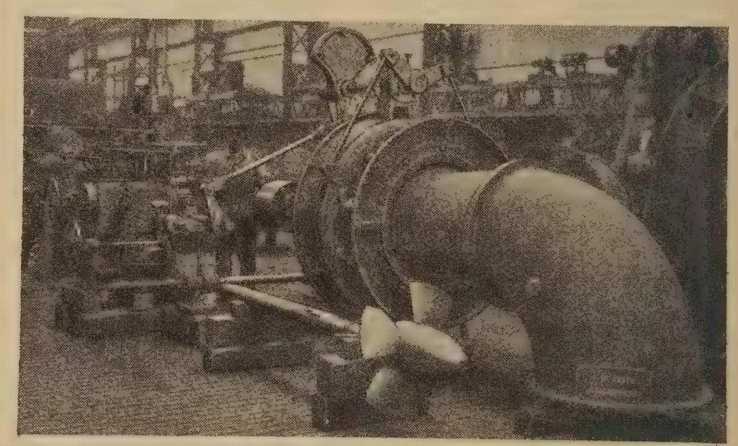


Abb. 30. Kaplanturbine für die Anlage Auerhammer nebst Doppelregler und Flügelrad mit Welle.

halber Last liegt er noch über 85 vH und erreicht bei ¼ Last den noch verhältnismäßig hohen Wert von 78,5 vH.

Die Wirkungsgradkurve muß für diese Radgröße als recht günstig bezeichnet werden und zeigt, daß der Kaplanturbine, wenn ihre Anwendung auf geeignete Verhältnisse beschränkt wird, trotz der höheren Kosten, eine beachtenswerte Stellung im Turbinenbau — zunächst in hydraulischer Hinsicht — zukommt. Über ihre Bewährung in mechanischer Beziehung und über die Möglichkeit weiterer Wirkungsgradsteigerungen wird die Zukunft entscheiden.

Die fernere Entwicklung der Flügelräder bei der Firma Voith wird nicht plötzlich, sondern durch Vereinigung dauernder wissenschaftlicher Forschung mit Betriebserfahrungen Schritt für Schritt zielbewußt erfolgen. Dies liegt nicht in letzter Linie im Interesse der Wasserkraftbesitzer, für die ein Rückschlag ebenso verhängnisvoll werden kann, wie für ein Lieferwerk, dessen verantwortliche Leiter sich durch die Ungeduld der Abnehmerkreise zu übereilten Vorstößen hinreißen lassen.

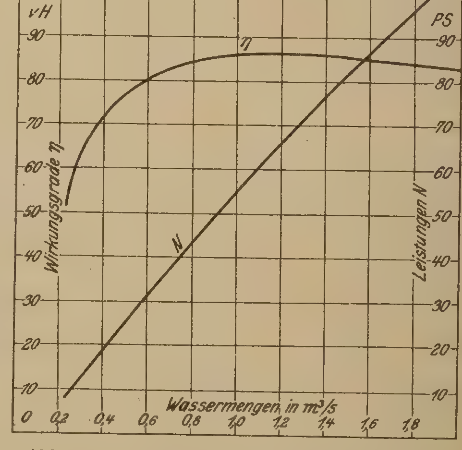


Abb. 31. Schaulinien für Wirkungsgrad und Leistung der Kaplanturbine Auerhammer nach Versuchen in Hermaringen.

Als jüngster Auftrag sei noch erwähnt die Flügelradturbine für die Anlage Heimbach-Kachlet der Rhein-Main-Donau-A.-G., München. Diese Turbine hat feste Flügel mit 4,6 m Raddurchmesser und wird für ein mittleres Gefälle von 7,65 und eine Leistung von 7450 PS bei 75 Uml./min gebaut.

[A 1966]

Die Wasserturbinen auf der Jubiläumsausstellung in Gothenburg 1923.

Von Dipl.-Ing. H. Munding, Stockholm.

Angaben von konstruktiven Einzelheiten und Wirkungsgraden der ausgestellten Kaplan-, Lawaczeck- und Francisturbinen, Regulatoren mit Evolventenpendel und Hilfswindkessel. Mechanischer Spannungsregler.

Die schwedische Industrie gab auf der Jubiläumsausstellung in Gothenburg ein imposantes Bild von ihrer Leistungsfähigkeit und ihrem Können, aber auch von dem Geist des Fortschrittes der Unternehmungslust und von mutiger Pionierarbeit. Auch die schwedische Turbinenindustrie, über deren Erzeugnisse im folgenden berichtet werden soll, hat reichlich Anteil daran. Auf der Ausstellung waren vier Firmen vertreten, die sich ganz oder teilweise dem Turbinenbau widmen.

Die Ausstellung der Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Verkstad, Verkstaden Kristinehamn.

Diese Firma hat ein mächtiges Laufrad einer Francisturbine, Abb. 1, mehrere kleine Francislaufräder, Regler, das kleine Modell eines Kaplan-Laufrades, zwei Schaufeln für große Peltonturbinen und eine Menge Photographien, Zeichnungen, Kurven und statistisches Material ausgestellt.

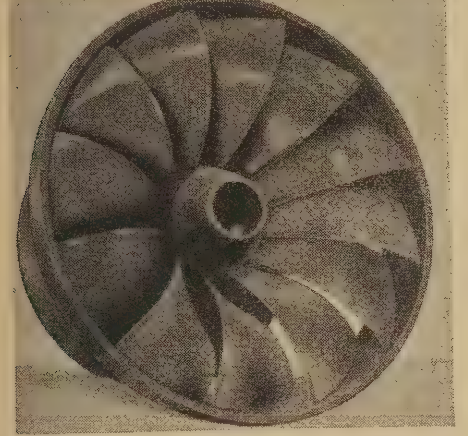


Abb. 1. Francislaufrad von 5030 mm größtem Dmr. für das Wasserkraftwerk Volchoff.
$H = 10{,}5$ m; $Q = 100$ m³/s; 75 Uml/Min; $n_s = 425$.

Das ausgestellte Francis-Laufrad für die Anlage Volchoff in Rußland, für die acht Maschinensätze dieser Größe und zwei 1600 PS-Maschinen für Gleichstromdynamos gemeinsam von Verkstaden Kristinehamn und Nydqvist & Holm in Trollhättan geliefert werden[1]), zeichnete sich nicht nur durch seine Größe aus, sondern auch durch seine saubere Ausführung, die einfache und schöne Schaufelform und die verhältnismäßig hohe spezifische Drehzahl von 425. Es hat 5030 mm größten Durchmesser und wiegt etwa 39 t. Das Rad ist konstruiert für einen Wasserverbrauch von 100 m³/s und 75 Uml./min bei 10,5 m Gefälle. Die Leistung wird 11 500 PS betragen.

Die aus Stahlblech hergestellten Schaufeln sind in die gußeiserne Nabe und den gußeisernen Kranz eingegossen. Der Spalt zwischen Laufrad und Leitrad ist in Übereinstimmung mit der neueren Praxis sehr groß. Den sich daraus ergebenden hohen Axialdruck sucht Verkstaden durch eine Verlängerung der Nabenscheibe über die Schaufeleintrittskante hinaus aufzuheben, die hier angeschraubt, Abb. 2, in andern Fällen angegossen ist, und nimmt lieber die dadurch bedingte vergrößerte Radreibung mit in den Kauf. Bemerkenswert ist ferner die geringe Schaufelzahl, die wesentlich zur Erreichung schöner gleichmäßiger Schaufelflächen beiträgt. Die Neigung, die Schaufelzahl so klein wie möglich zu halten, ist durchgehend zu bemerken, wie auch das Laufrad der von der A.-B Finshyttan gebauten Turbine für Ljusfors in Abb. 19 zeigt.

[1]) Die großen Turbinen werden von Verkstaden Kristinehamn, die Erregerturbinen und alle Regler von Nydqvist & Holm geliefert.

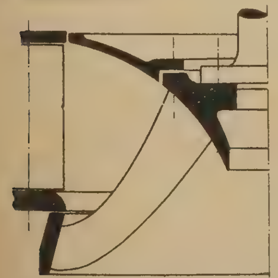


Abb. 2. Francislaufrad mit über die Eintrittskante hinaus verlängerter Nabenscheibe.

Verkstaden Kristinehamn hat mit dieser Räderbauart hervorragende Ergebnisse erzielt. So erreichte z. B. der Wirkungsgrad bei den Turbinen im Elektrizitätswerk Raanaasfos in Norwegen 90 vH und in den Elektrizitätswerken Untra und Forshuvudforsen 88 vH. Die Firma hat, wie aus den zahlreichen ausgestellten Wirkungsgradkurven hervorgeht, bei einer ganzen Reihe von Anlagen Wirkungsgrade von 90 vH und mehr erreicht.

Bei den Anlagen Trollhättan (Kraftwerk des schwedischen Staates) und Raanaasfoss, deren Schnittzeichnungen

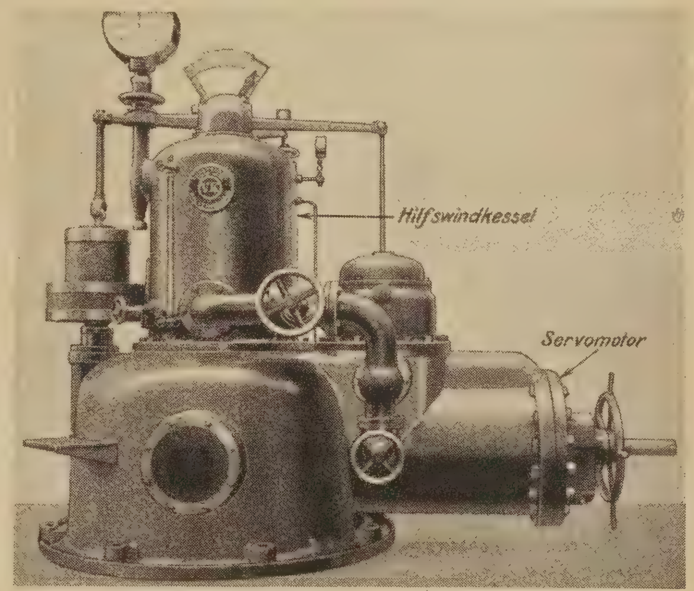


Abb. 4. Regler größter Leistung mit angebautem Hilfswindkessel.

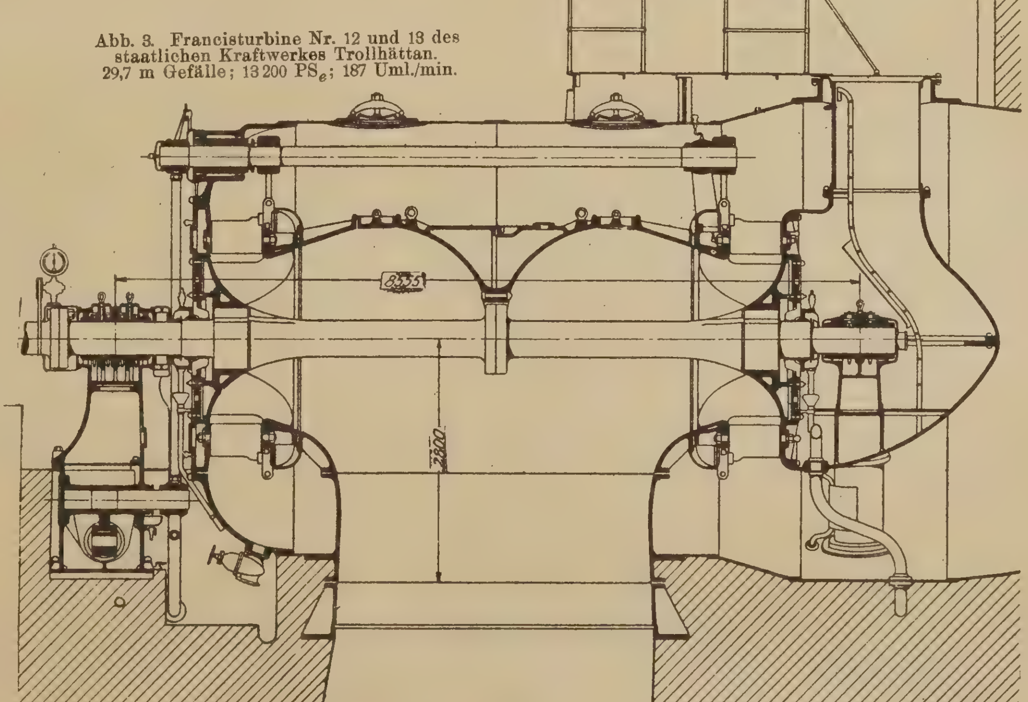


Abb. 3. Francisturbine Nr. 12 und 13 des staatlichen Kraftwerkes Trollhättan.
29,7 m Gefälle; 13 200 PS_e; 187 Uml./min.

ausgestellt waren, Abb. 3[1]), ist bemerkenswert, daß die Welle in der Mitte des Doppelkrümmers durch einen angeschmiedeten Flansch geteilt, aber neben der Flanschkupplung nicht gelagert ist. Diese kühne Konstruktion ist von Verkstaden Kristinehamn eingeführt und seitdem bei allen sich bietenden Gelegenheiten mit bestem Erfolg ausgeführt worden. Da diese Konstruktion natürlich vorzügliches Material und äußerst sorgfältige Arbeit verlangt, wird die Turbine trotz der Vereinfachung kaum billiger, dagegen stellen sich die Baukosten günstiger, da die Zugänge zu dem mittleren Lager, auf die bei so großen Einheiten nicht verzichtet werden kann, wegfallen.

Bei allen Reglern, bei denen die Druckölpumpe mit dem Regler zusammen gebaut ist, sitzt ein Zahnrad der Pumpe auf der Pendelwelle. Es werden also Pumpe und Pendel durch nur einen Riemen getrieben, wobei das Pendelgehäuse oft als Riemenscheibe dient. Nachteile haben sich daraus nicht ergeben. Um die Gefahr des Riemenbruches oder des Abfallens des Riemens zu vermindern, läßt man bei größeren Reglern mit wagerechter Pendelachse zwei Riemen als gegenseitige Reserve nebeneinanderlaufen, auf denen noch eine Rolle läuft, die bei Riemenbruch niederfällt und dadurch ein Ventil umstellt, wodurch der Servomotor den Leitapparat schließt.

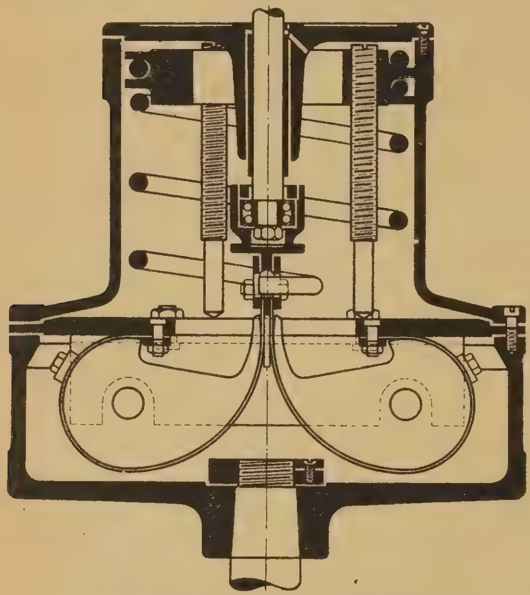


Abb. 5. Evolventenpendel Patent Englesson.

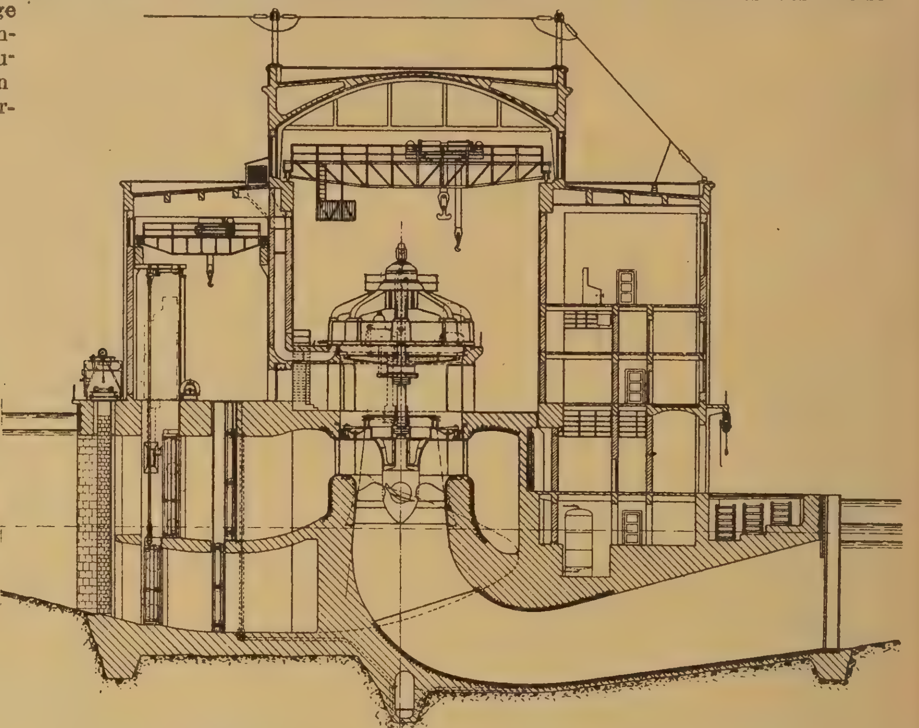


Abb. 8. Kraftwerk Lilla Edet; Schnitt durch die Kaplanturbine von 11 200 PS bei 62,5 Uml./min und 6,5 m Gefälle.

Die von Verkstaden Kristinehamn ausgestellten Regler zeichnen sich durch einen gefälligen und geschlossenen Aufbau aus. Alle wesentlichen Teile sind aber so eingebaut, daß mit Ausnahme des Pendels keine Einzelheiten sichtbar sind. Zeichnungen oder schematische Skizzen waren nicht ausgestellt. Die kleinsten Regler haben keinen Windkessel, sondern die Druckölpumpe arbeitet unmittelbar auf den Servomotor. Größere Ausführungen erhalten einen Windkessel und ganz große, bei denen Druckpumpe und Windkessel zweckmäßig nicht mehr mit dem Regler zusammengebaut werden, erhalten einen kleinen Hilfswindkessel, der mit dem Servomotor und den Steuerorganen zusammengebaut ist, und aus dem der Servomotor sein Drucköl so lange entnimmt, bis das Öl in den langen Rohrleitungen beschleunigt ist, und der auf diese Weise Druckstöße in den langen Rohrleitungen zwischen Windkessel, Steuerorganen und Servomotor verhindert oder mildert. Abb. 4 zeigt einen solchen Regler für stehende Welle.

[1]) s. a. Z. Bd. 59 (1915) S. 106 sowie Bd. 68 Heft 14 S. 326 und dieses Heft S. 368.

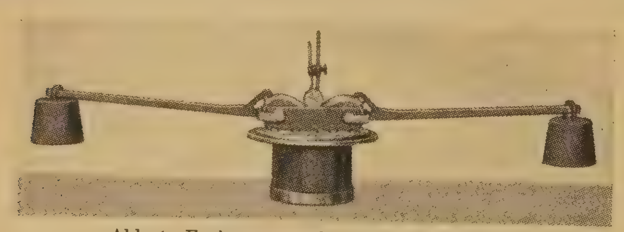


Abb. 6. Evolventenpendel mit Prüfanordnung.

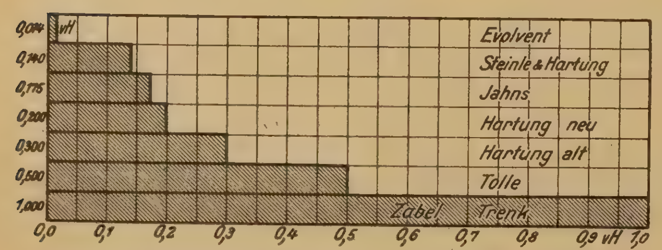


Abb. 7. Unempfindlichkeitsgrad in vH der Pendel der bekanntesten Specialfirmen.

Das von Verkstaden Kristinehamn verwendete Pendel ist das sogenannte Evolventenpendel nach Patent Englesson, das sich durch große Empfindlichkeit, vielleicht aber noch mehr durch Einfachheit auszeichnet. Abb. 5 zeigt einen Schnitt durch ein Pendel dieser Bauart. In Gothenburg war ein solches mit Prüfanordnung ungefähr nach Abb. 6 ausgestellt. Durch einen leichten Druck auf den mit Gewichten belasteten Hebel wurde das Pendel aus der Gleichgewichtlage gebracht und kehrte nach Freigabe genau in die ursprüngliche Lage zurück. Das Pendel kann mit wagerechter oder senkrechter Achse laufen. Verkstaden Kristinehamn hat den Unempfindlichkeitsgrad des Pendels in einem vergleichenden Schema dargestellt, das in Abb. 7 wiedergegeben ist. Die angeführten Werte für die Unempfindlichkeit der anderen Pendel sind teils der Hütte, teils Katalogen der betreffenden Firmen entnommen.

Für Fernanlassen und -abstellen hat Verkstaden Kristinehamn einen von Ingenieur Englesson konstruierten Apparat ausgestellt, der in der Zeitschrift „Die Wasserkraft" vom 15. Mai 1923 beschrieben ist.

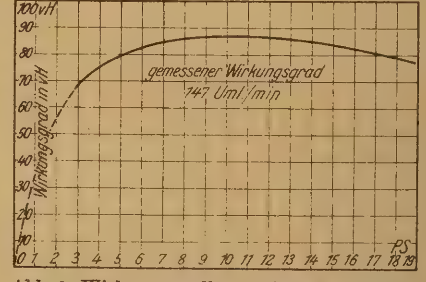


Abb. 9. Wirkungsgradkurve eines Modellrades der Kaplanturbine für das Kraftwerk Lilla Edet.

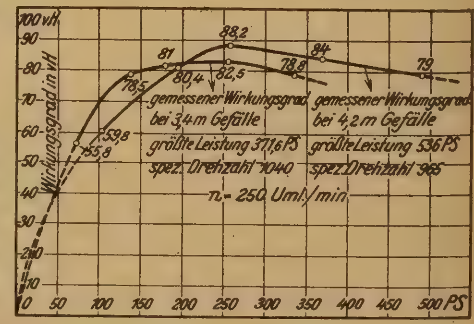


Abb. 10. Bremsergebnis der Kaplanturbine des Elektrizitätswerkes der Stadt Gävle.

Auch in bezug auf Freistrahlturbinen hat diese Firma bedeutende Leistungen aufzuweisen. Auf der Ausstellung sind zwar nur zwei Laufradschaufeln ausgestellt, wie sie für die Anlage Vemork der Aktiengesellschaft Rjukanfos in Norwegen geliefert wurden; dazu ist erläuternd mitgeteilt, daß bei dieser Anlage die Räder von fünf Peltonturbinen anderer Herkunft durch Räder von Verkstaden Kristinehamn ersetzt wurden. Alle fünf Räder wurden genau geprüft und es ergab sich durchschnittlich ein bester Wirkungsgrad von 88,1 vH. Die Leistung jeder Turbine stieg dadurch bei gleicher Wassermenge und gleichem Gefäll um volle 1000 kW.

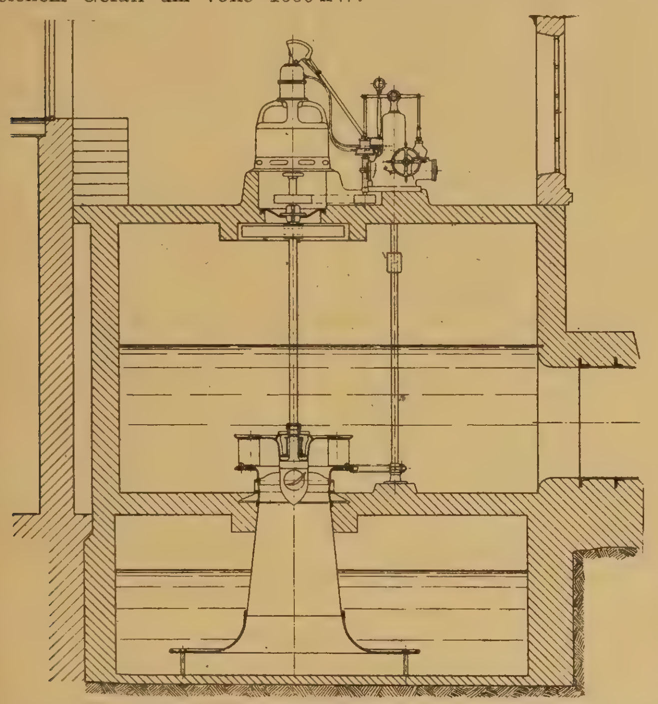


Abb. 11. Kaplan-Turbinenanlage Forsvik: 3,15 m Gefälle 100 PS 300 Uml./min.

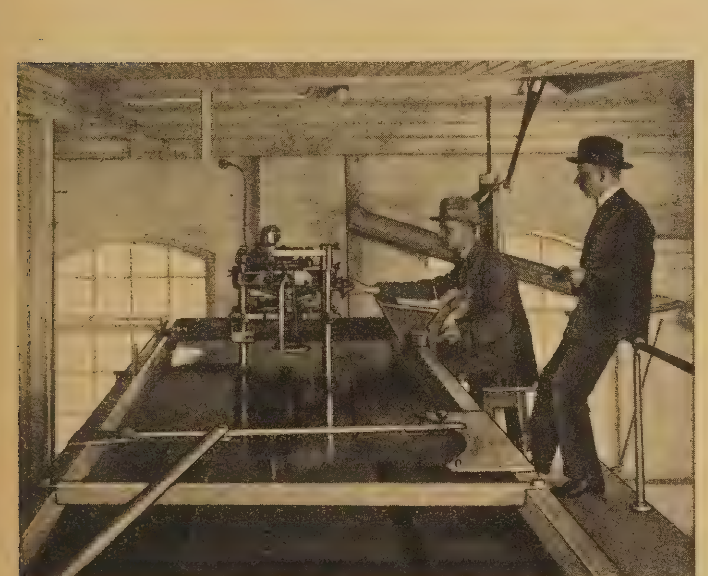


Abb. 13. Oberwassergerinne mit Bremse in der neuen Prüfanstalt von Verkstaden, Kristinehamn.

Von großem Interesse sind auch die Angaben, die Verkstaden Kristinehamn über Kaplanturbinen macht. Verkstaden hat im Jahre 1922 den Bau von Kaplanturbinen zielbewußt aufgenommen und hat ein kleines, in Bewegung befindliches Laufrad von rd. 250 mm Dmr. mit drei Schaufeln, die durch Druck auf einen Knopf verstellt werden können, und außerdem noch eine Reihe Zeichnungen von Anlagen und Wirkungsgradkurven ausgestellt. Die Angaben, die Verkstaden über Wirkungsgrade und Betriebserfahrungen machen kann, sind äußerst günstig. Die erste in Schweden bestellte große Kaplanturbine war von der Königl. Wasserfalldirektion für das staatliche Kraftwerk Lilla Edet in Auftrag gegeben. Eine Schnittzeichnung durch das Kraftwerk war ausgestellt und ist in Abb. 8 wiedergegeben. Die Turbinen dieses Kraftwerkes werden die größten Turbinen der Welt. Das Laufrad der Kaplanturbine dieser Anlage wird 5,8 m Dmr. erhalten und bei 6,5 m Gefälle bis zu 11 200 PS abgeben und 62,5 Uml./min machen. Die Königl. Wasserfalldirektion ließ mehrere Modelle dieser Turbine von 0,95 m Raddurchmesser in eigener Versuchsanstalt prüfen und erhielt bei einem der Räder die in Abb. 9 dargestellte Wirkungsgradkurve. Die Bremsung erfolgte bei rd. 3,5 m Gefäll. Umlaufzahl und Leistung sind auf 1 m Gefäll umgerechnet. Die Wirkungsgradkurven der anderen Räder unterscheiden sich nur wenig von der in Abb. 9 dargestellten. Mehrere kleine Bestellungen folgten rasch nach und in Abb. 10

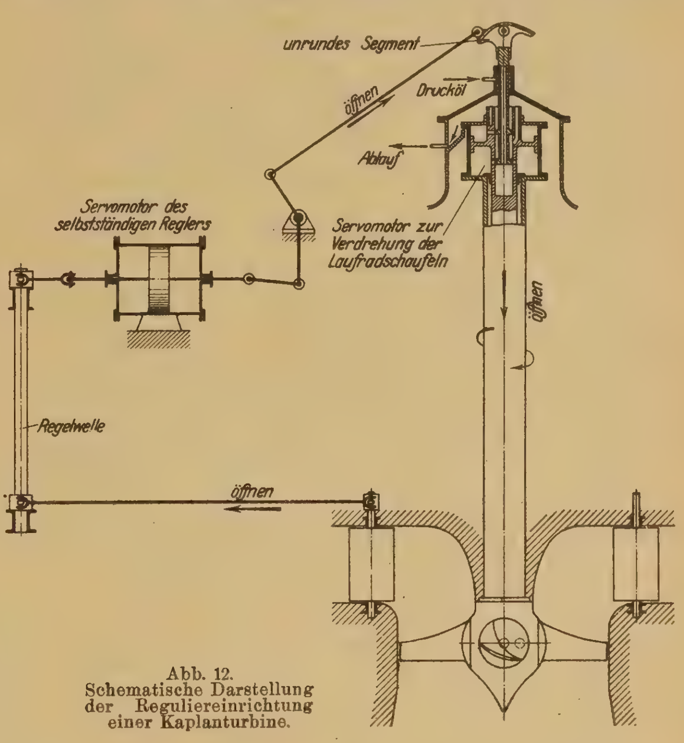


Abb. 12. Schematische Darstellung der Reguliereinrichtung einer Kaplanturbine.

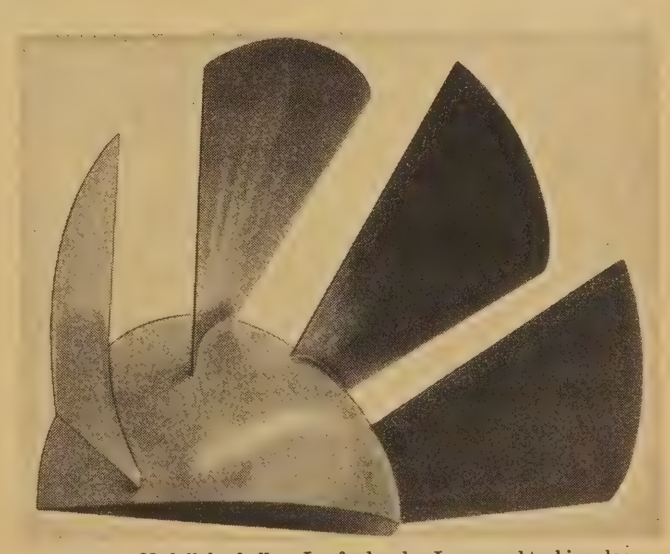
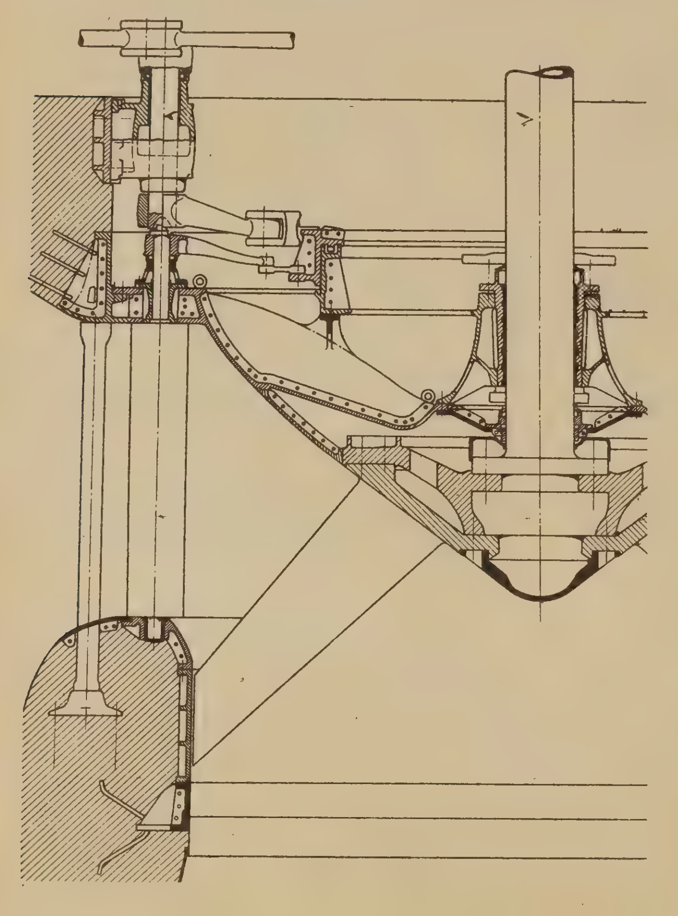


Abb. 14. Modell des halben Laufrades der Lawaczeckturbine der Anlage Lilla Edet.

ist das offizielle Bremsergebnis der für das Elektrizitätswerk der Stadt Gävle in Strömsborg gelieferten Kaplanturbine dargestellt. Der rasche Abfall der Wirkungsgradkurve von halber Last abwärts an beruht darauf, daß von da ab zur Schonung der Regelung der Laufradschaufeln nur mit dem Leitapparat geregelt wird, also ohne die Laufradschaufeln zu verdrehen.

Abb. 11 zeigt den Schnitt durch eine kleine Anlage bei Forsvik, die auch erkennen läßt, wie die selbsttätige Regelung der Laufradschaufeln angeordnet wird. Schematisch ist sie in Abb. 12 dargestellt, die dem Aufsatz von Oberingenieur Molinder in den Mitteilungen Nr. 140 (1922) der schwedischen Wasserkraftvereinigung entnommen ist. Der mit der Achse umlaufende Servomotor kann natürlich an irgendeiner andern Stelle an-

geordnet werden und wird in den meisten Fällen in die Nabe des Kaplanrades eingebaut. Die Wirkungsweise der Regulierung ist folgende: durch den Servomotorkolben, der die Leitschaufeln verstellt, wird ein auf das obere Lager aufgesetztes, unrundes Segment verdreht. Das Steuerventil für den Laufradservomotor ist in dessen Kolbenstange eingebaut und trägt oben eine Rolle, die durch den Flüssigkeitsdruck gegen das unrunde Segment gepreßt wird. Der Servomotorkolben ist so gesteuert, daß er dem Steuerventil folgt und mit seiner Bewegung aufhört, sobald er sich um den gleichen Weg bewegt hat, wie das Steuerventil.



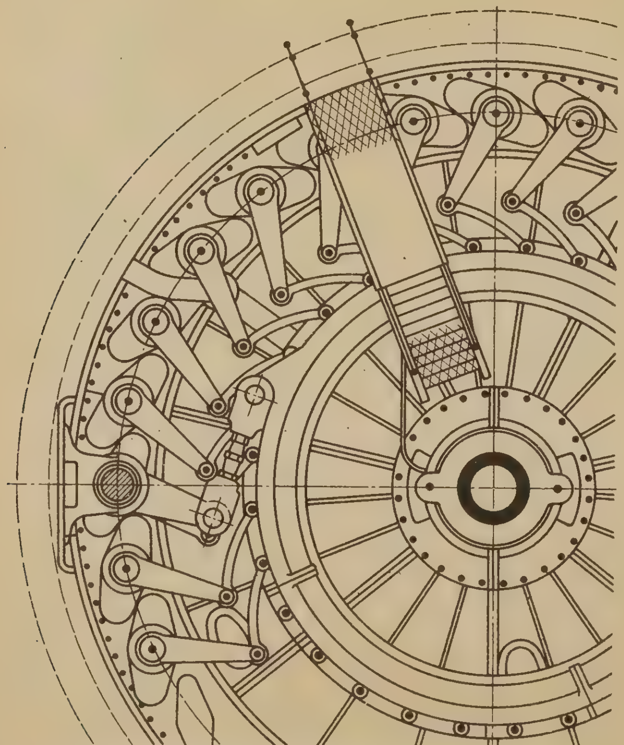


Abb. 15 und 16. Lawaczekturbine der A.-B Finshyttan in Finshyttan. 6,5 m Gefälle; 10000 PS; 62,5 Uml/min.

Die mitgeteilten Wirkungsgrade von Francis- und Kaplanturbinen sind das Ergebnis eifriger zielbewußter Versuchsarbeit, zu der die schwedische Industrie auch veranlaßt wurde durch die schwedischen Abnehmer, die fast nie darauf verzichten, wichtigere Anlagen auch zu prüfen. Zur Vereinfachung der Versuchsarbeit hat Verkstaden Kristinehamn außer einer Versuchsanstalt, in der Räder von rd. 600 mm Dmr. bei rd. 4 m Gefäll geprüft werden, ein neues Laboratorium gebaut, in dem Räder von rd. 250 mm Dmr. geprüft werden. Die neue Prüfanstalt ist mit allen denkbaren Verfeinerungen ausgestattet, um genaues und rasches Arbeiten zu ermöglichen. Abb. 13 zeigt das Oberwassergerinne mit Bremse und Beobachtungssitz. Dieses Laboratorium, in dem schon eine Menge hydraulischer Probleme untersucht wurden, hat sich in hohem Maße bewährt.

Die Ausstellung der A.-B. Finshyttan in Finnshyttan.

Das wichtigste und interessanteste Ausstellungsobjekt war hier zweifellos das große Modell des halben Laufrades, Abb. 14, für die Lawaczeckturbinen der Anlage Lilla Edet, für die die Königl. Wasserfalldirektion zwei Turbinen mit Laufrädern dieser Bauart bestellt hat. Diese Turbinen werden bei 6,5 m Gefälle 10 000 PS abgeben und 62,5 Uml./min machen. Die Schaufelkonstruktion ist ausgeführt nach Angaben und Patent von Dr.-Ing. F. Lawaczek in München. Das Modellrad hat einen äußeren Durchmesser von genau 6 m, ist also noch um 200 mm größer als das Kaplanrad für dieselbe Anlage. Die Schaufeln sind einzeln an eine Nabenscheibe angeschraubt, die auf der Welle sitzt. Die Turbine ist in Abb. 15 und 16 dargestellt. Wie man sieht, weicht sie im Aufbau des Leitapparates von der Francisturbine nicht ab. An interessanten Einzelheiten möge erwähnt werden, daß die Stützsäulen vor dem Leitapparat nicht wie bisher auf einen schweren eisernen Ring aufgesetzt sind, sondern ihre Last unmittelbar mittels je einer auf das untere Ende aufgeschrumpften Grundplatte auf das Betonfundament überführen. Um den Beton gegen Auswaschen durch die große Wassergeschwindigkeit vor dem Leitapparat zu schützen, ist der untere Leitapparatring durch einen leichten gußeisernen Ring nach außen hin verbreitert. Dieselbe Konstruktion ist auch bei der Kaplanturbine dieser Anlage verwandt. Für die Bruchsicherung, die bei Außenregelung üblich ist, hat Ingenieur Svala von der Aktiengesellschaft Finshyttan die Anwendung von gekrümmten gußeisernen Schubstangen zwischen Regulierring und Regulierhebel vorgeschlagen. Versuche ergaben, daß die Bruchfestigkeit bei Zug ungefähr 10 000 kg, bei Druck rd. 11 000 kg war. Die Festigkeit war sehr gleichmäßig. Diese Konstruktion bedingt natürlich große Sorgfalt bei der Herstellung und der Materialüberwachung der Schubstangen.

Abb. 17. Wirkungsgradkurve eines Lawaczeklaufrades von 1000 mm Dmr. bei 1 m Gefälle.

Die Schaufeln des Laufrades sind nicht mehr wie bei Francisturbinen nur in der Nähe von Ein- und Austrittkante festgelegt, dazwischen aber ziemlich willkürliche Flächen, sondern durch den Zylinderschnitt im äußersten Umfang und eine weitere Veränderliche in allen Punkten festgelegt. Eine solche durch den äußeren Zylinderschnitt und nur eine einzige weitere Veränderliche bestimmte Schaufel

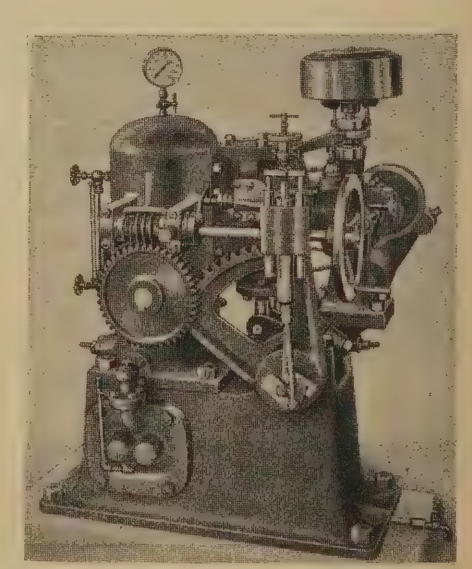


Abb. 18. Isodromregler der Firma A.-B. Finshyttan.

hat gegenüber den bisher üblichen Schaufelkonstruktionen bedeutende Vorteile. Einmal läßt sich die Untersuchung des Rades auf dem Bremsstand mit Leichtigkeit systematisieren. Es ist ferner für Transport, Montage und Fabrikation ein bedeutender Vorteil, und das gilt natürlich auch von den Kaplanturbinen, wenn man die Schaufeln einzeln für sich herstellen und transportieren kann und keine solche Riesenstücke mehr zu bewältigen hat, wie das von Verkstaden Kristinehamn ausgestellte Laufrad für Volchoff, für dessen Transport einige Überführungen über die Eisenbahn erhöht werden mußten. Das

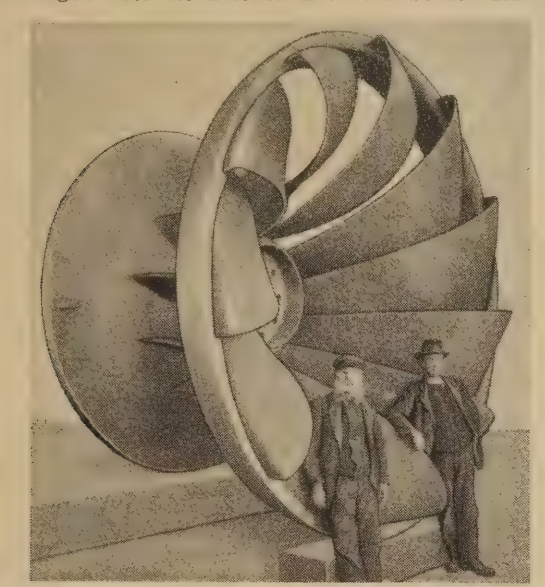


Abb. 19. Laufrad von 3800 mm Dmr. der Turbine für Ljusfors

läßt sich ja bei leichten Bauten noch machen, aber bei Eisen- und Betonkonstruktionen, die bei schwerem oder lebhaftem Verkehr doch die Regel sein dürften, ist es völlig ausgeschlossen. Für eine Turbinenfabrik ist es ferner ein nicht hoch genug zu bewertender Vorteil, daß man mit Schaufeln dieses Systems eine Einheitlichkeit in die Radkonstruktionen bringen kann, die bisher nicht denkbar war, weil sich das Konstruktions- und Fabrikationsprinzip dieser Schaufeln mit gleich gutem Erfolg für alle spezifischen Drehzahlen anwenden läßt. Versuche mit Lawaczekrädern von einer spezifischen Drehzahl von 220 liegen bereits vor und ergaben, daß langsam laufende Räder dieser Konstruktion den besten Francisläufrädern mit derselben spezifischen Drehzahl durchaus ebenbürtig sind.

Neben dem großen Modellrad waren noch zwei kleinere Lawaczekräder ausgestellt, eines mit 460 mm Dmr., wie es in der Prüfungsanstalt der Firma zur Verwendung kommt, und ein 100 mm-Rädchen. Abb. 17 zeigt die Wirkungsgradkurve eines Laufrades dieser Bauart von 1 m Dmr., die sich bei der Prüfung in der Versuchsanstalt der Königl. Wasserfalldirektion bei etwa 3,6 m Gefäll ergab. Leistung und Umlaufzahl sind auf 1 m Gefäll umgerechnet. Das ausgestellte Lawaczeklaufrad mit 460 mm Laufraddurchmesser ergab bei einer spezifischen Drehzahl von $n_s = 570$ einen Wirkungsgrad von 87 vH.

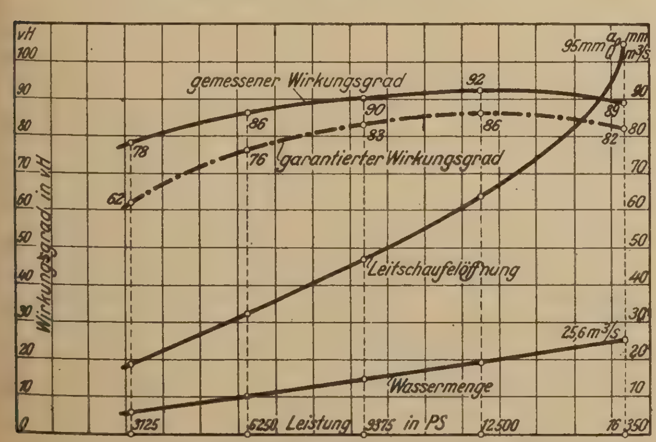


Abb. 21. Wirkungsgradkurven der Turbinen von Nydquist & Holm im Großkraftwerke Porjus; Gefälle 55 m.

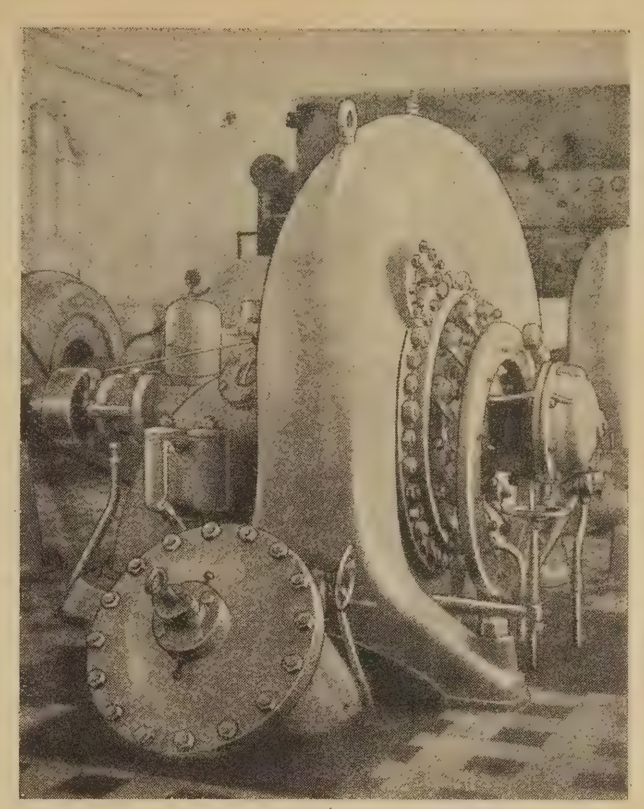
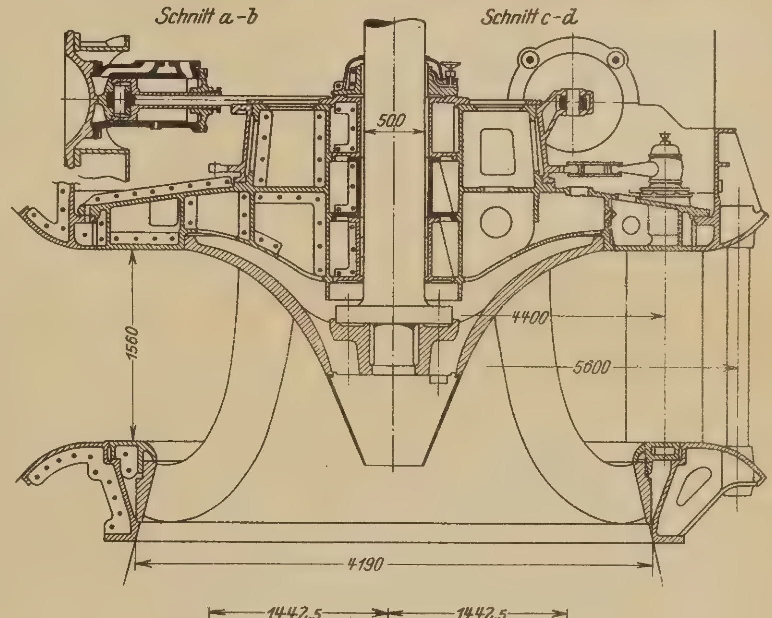


Abb. 20. Spiralturbine der Anlage Röttle mit schwebendem Regulierring.



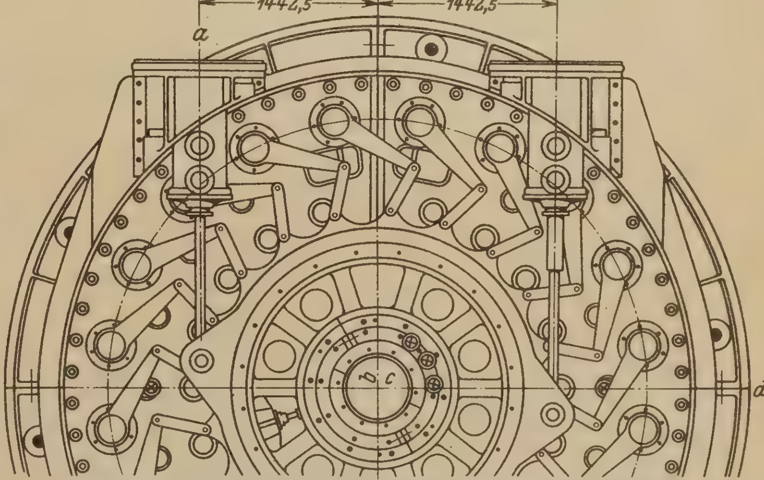


Abb. 22 und 23. Turbine für das Kraftwerk Forshuvudforsen, gebaut von Nydquist & Holm A.-B., Trollhättan; 10,3 m Gefälle, 7700 PS, 83,3 Uml./min

Weiter stellte die Firma noch mehrere Francislaufräder aus, darunter ein Bronzerad für die Anlage Högforsen für 81 m Gefäll, 1200 PS und 750 Uml./min und das Modellrad für die Anlage Mockfjard, in der vier Zwillingsturbinen von je 5500 PS und 250 Uml./min eingebaut sind. Das Gefälle beträgt hier 22 m. Das Modellrad hat einen besten Wirkungsgrad von 87 vH und bei Halblast noch von 83 vH.

Für kleine Anlagen, bei denen geringe Anlagekosten und einfachste Wartung ausschlaggebend sind, z. B. für Gehöfte oder einsamstehende Villen, baut die Firma kleine Kesselturbinen mit feststehenden Leitradschaufeln. Die Regelung erfolgt durch Drosseln des Wassers in der Zuleitung oder im Saugrohr.

Für Fernanlassen und -abstellen bei Rohrleitungsturbinen verwendet die Firma eine in die Rohrleitung eingebaute Drosselklappe. Auf die Drosselklappe ist ein Servomotor für Druckwasser aufgesetzt, dessen Steuerventil durch ein Paar Elektromagneten verstellt wird, die ihren Strom von einer Batterie oder einer kleinen Induktionsmaschine erhalten.

Der ausgestellte Regulator ist ein moderner Isodromregler mit nachgiebiger Rückführung und allen heute üblichen Einstell- und Sicherheitsanordnungen. Einzelheiten und Wirkungsweise sind aus Abb. 18 ersichtlich. Von den ausgestellten Photographien sollen nur zwei wiedergegeben werden. Abb. 19 zeigt das Laufrad der Anlage Ljusfors mit einem größten Durchmesser von 3800 mm und 17 000 kg Gewicht. Die elf Schaufeln sind aus Stahlguß hergestellt und dann wie Stahlblechschaufeln in den gußeisernen Radkörper eingegossen. Auch hier fällt die geringe Schaufelzahl, die einfache Schaufelform und der mit Rücksicht auf den Axialschub große Nabenscheibendurchmesser auf. Die Turbine leistet bei 3,75 m Gefälle 1360 PS und macht 57,7 Uml./min. Der Wirkungsgrad betrug bis zu 85,5 vH und bei Halblast noch 77 vH. Die Turbine ist in eine Betonspirale eingebaut und hat stehende Welle. Bei der in Abb. 20 gezeigten Spiralturbine der Anlage Röttle von 2000 PS bei 100 m Gefäll und 750 Uml./min ist der freischwebende Regulierring zu beachten. Die übliche Konstruktion ist, den Regulierring konzentrisch zur Welle zu führen und die radial gerichteten oder mit ihrer Mittellinie einen inneren Kreis berührenden Regulierhebel mittels Schubstängchen mit dem Regulierring zu verbinden. Da der konzentrisch geführte Regulierring selbst bei Rollenlagern viel Reibung verursacht, hat Ingenieur Svala die Aufgabe so gelöst, daß er alle Regulierhebel parallel zueinander stellt und den Regulierring ohne Vermittlung von Schubstängchen mit den Regulierhebelenden verbindet. Beim Regulieren wird der Regulierring durch ein geeignetes Gestänge parallel mit sich selbst verschoben. Diese Konstruktion ist da, wo sie sich anwenden läßt, sehr leicht und einfach und vermeidet die Regulierringreibung vollständig.

Die Ausstellung der Firma Nydquist & Holm A.-B., Trollhättan.

Diese Firma war auf der Ausstellung nur mit Bildern vertreten, da ihre Werkstätten durch eine Bestellung von 500 großen Lokomotiven für die russischen Staatsbahnen so stark in Anspruch genommen sind, daß sie sich nur in beschränktem Maße dem Bau von Turbinen widmen kann. Man muß das vom Standpunkte des Turbineningenieurs aus bedauern, weil aus den Werkstätten dieser Firma sehr schöne Konstruktionen hervorgegangen sind, wie aus den ausgestellten Zeichnungen hervorgeht. Da die Firma, obschon ihr augenblickliches Hauptinteresse anders gerichtet ist, für die Leistungsfähigkeit der schwedischen Turbinenindustrie einen guten Maßstab abgibt, soll auf die ausgestellten Zeichnungen und Mitteilungen auch hier eingegangen werden.

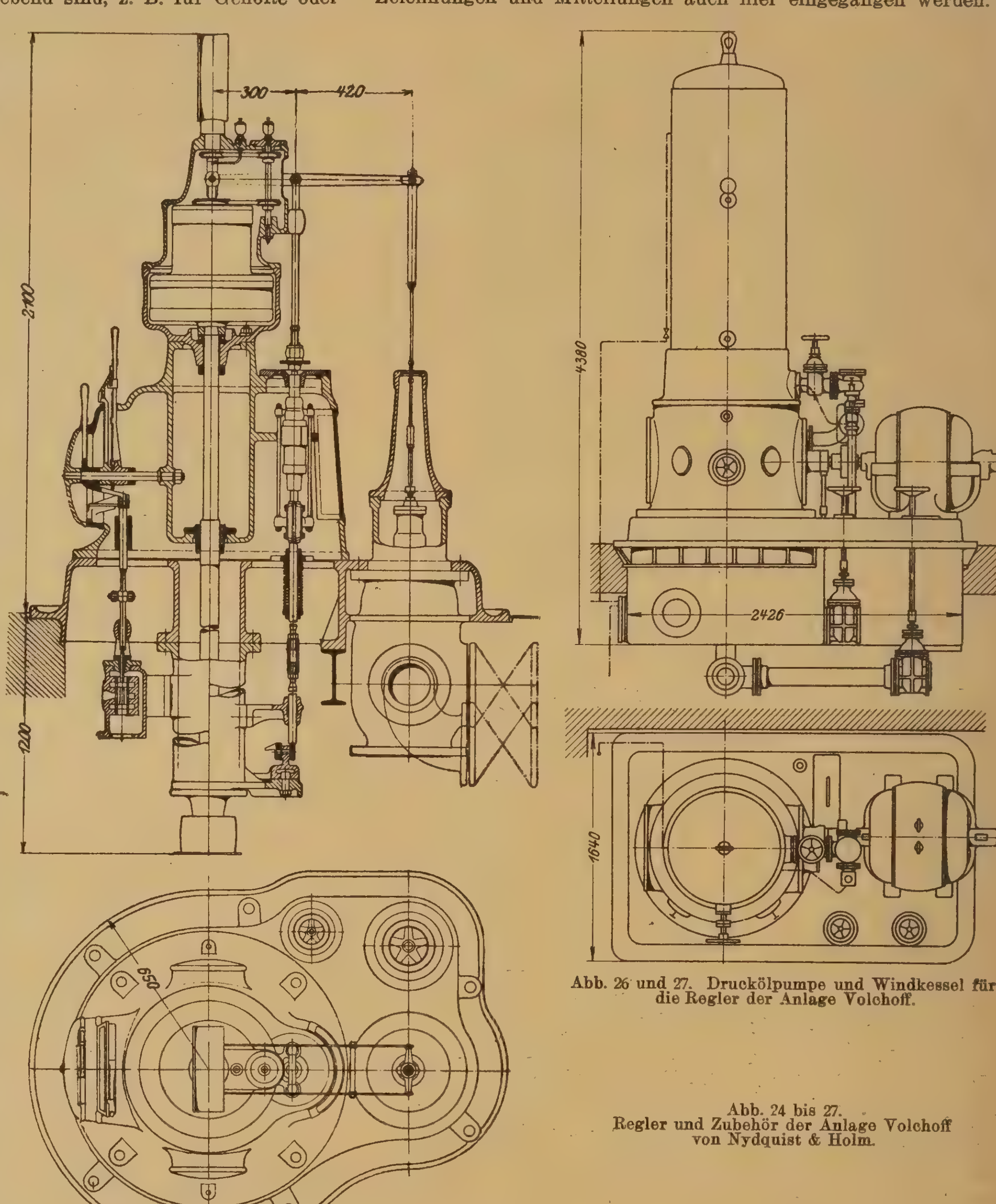


Abb. 26 und 27. Druckölpumpe und Windkessel für die Regler der Anlage Volchoff.

Abb. 24 bis 27.
Regler und Zubehör der Anlage Volchoff von Nydquist & Holm.

In erster Linie sind zu nennen die Zeichnungen der Turbinen des staatlichen Kraftwerkes Trollhättan, von dessen 13 Turbinen 7 von Nydquist & Holm A.-B. geliefert wurden. Auf eine Beschreibung derselben kann hier verzichtet werden, da sich eine solche mit Abbildungen in der zweiten Auflage von Professor Pfarrs Werk[1]) über Wasserturbinen findet. Als weiteres Großkraftwerk des schwedischen Staates ist Porjus[2]) mit Turbinen von Nydquist & Holm A.-B. ausgerüstet.

Die ausgestellten Schnittzeichnungen sind bereits in der Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen Jahrgang 1915 veröffentlicht. Diese Turbinen zeichnen sich durch sehr hohe Wirkungsgrade aus, die in Abb. 21 aufgetragen sind.

Von den beiden Turbinen des Kraftwerkes Forshuvudforsen ist eine von Nydquist & Holm A.-B., die andere von Verkstaden Kristinehamn geliefert. In Abb. 22 und 23 ist die

[1]) Berlin 1912, Verlag Julius Springer. [2]) Z. Bd. 64 (1920) S. 181.

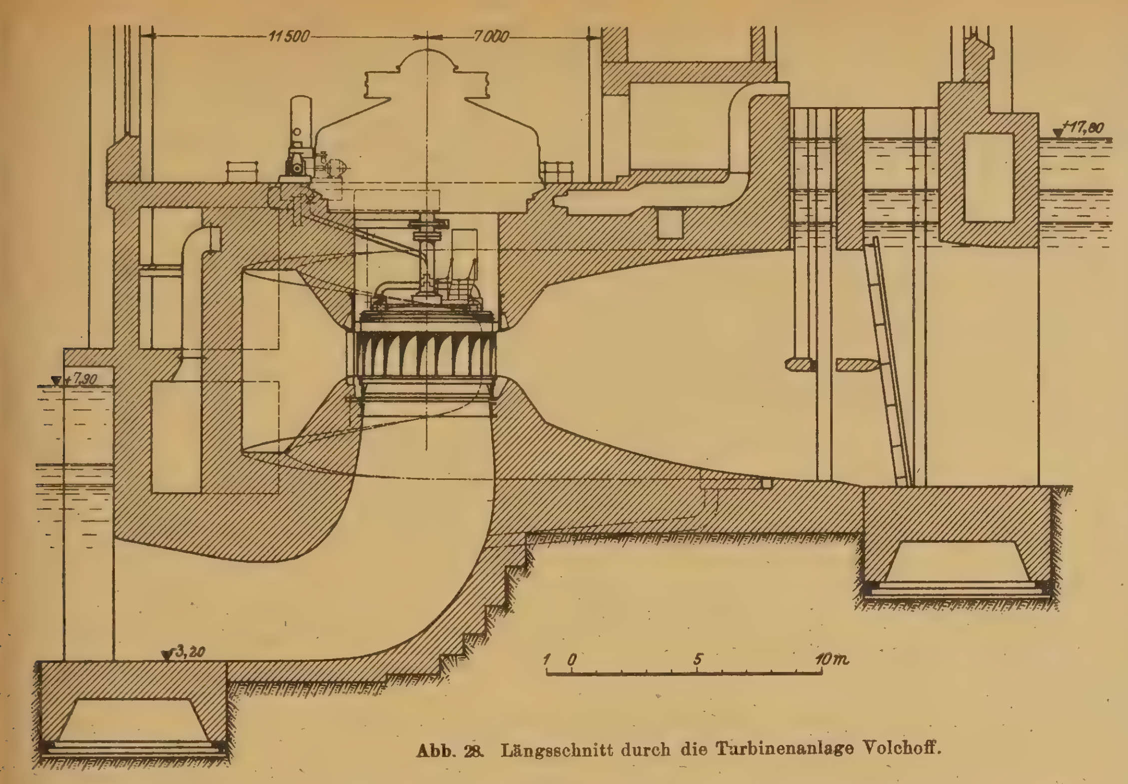


Abb. 28. Längsschnitt durch die Turbinenanlage Volchoff.

erste dargestellt. Die Turbinen leisten bei 10,3 m Gefälle rd. 7700 PS und machen 83,3 Uml./min. Das Laufrad ist bei beiden aus Stahlguß, hat einen größten Durchmesser von 4210 bzw. 4110 mm, 13 bzw. 14 Schaufeln und wiegt 24 000 bzw. 20 000 kg. Es ist mit der Turbinenwelle durch einen an die Welle angeschmiedeten Flansch verschraubt. Das in den Deckel eingebaute Halslager ist bei der Nydquist & Holm-Turbine ein Pockholzlager mit Wasserkühlung und bei der Verkstaden-Turbine ein Weißmetallager mit Ölumlaufpumpe. Die Regulierung ist mit äußerem Regulierring ausgebildet. Bei der Nydquist & Holm-Turbine wird der Regulierring von zwei in den obern Betonfassungsring eingebauten Servomotoren bewegt. Das Regulatorpendel wird mittels Riemen unmittelbar von der stehenden Turbinenwelle angetrieben. Der Regulator und dessen Anordnung ist im wesentlichen derselbe wie der für die großen Turbinen der russischen Anlage Volchoff, der in Abb. 24 bis 27 dargestellt ist. Er hat eine nachgiebige Rückführung und eine sorgfältig konstruierte hydraulische Handsteuerung. Die Druckölpumpe wird auch hier durch einen eigenen Elektromotor angetrieben, eine Anordnung, die besonders bei stehender Turbinenwelle große Vorzüge hat, die sich aber auch bei großen Sätzen mit liegender Welle immer mehr einbürgert. Abb. 28 zeigt einen charakteristischen Schnitt durch die großen Turbinen der Anlage Volchoff.

Ausstellung der Firma A.-B. Arboga, Mekaniska Verkstad.

Die Firma hatte eine kleine einfache Turbine mit liegender Welle, in einem Holzschacht eingebaut, der in Höhe der Turbinenachse abgeschnitten ist, ausgestellt. Die Turbine ist mit Geschwindigkeits- und mechanischem Spannungsregler ausgestattet und von normaler Konstruktion, wie sie sich vielfach bewährt hat. Von besonderem Interesse ist der mechanische Spannungsregler, den die Firma schon seit Jahrzehnten ausführt. Bekanntlich verlangen Drehstromerzeuger, wenn sie Strom von konstanter Spannung liefern sollen, mit Veränderung der Belastung auch eine Veränderung der Erregerspannung, die durch einen in den Erregerstromkreis eingeschalteten Widerstand erfolgt, dessen Stellhebel hier durch den Servomotor des Reglers mittels Hebel, Räderübersetzung und Drahtzug betätigt wird. Schematisch ist die Übertragung der Servomotorbewegung auf den Reglerwiderstand in Abb. 29 dargestellt. Durch die Zahnstange *a* wird der Hebel *b* verdreht, der seine Bewegung mittels einer Verbindungsstange auf Hebel *c* überträgt, der seine Bewegung mittels einer in einem gußeisernen Gehäuse untergebrachten Zahnradübersetzung auf eine Rolle überträgt, von der aus der Stellhebel des Erregerwiderstandes mittels Drahtzuges verstellt wird. Es kann der normalerweise zur elektrischen Ausrüstung gehörige Erregerwiderstand benutzt werden oder aber besser ein besonderer Hilfswiderstand.

Der von der Firma ausgestellte Regulator, Abb. 30, ist mit Zahnradpumpe zur Erzeugung des Öldruckes, Windkessel und

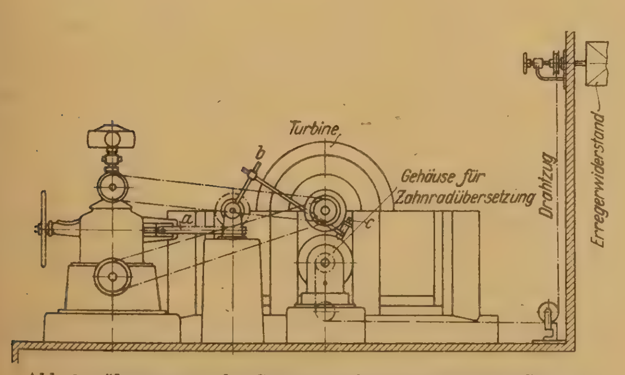


Abb. 29. Übertragung der Servomotorbewegung auf den Reglerwiderstand zur Veränderung der Erregerspannung.

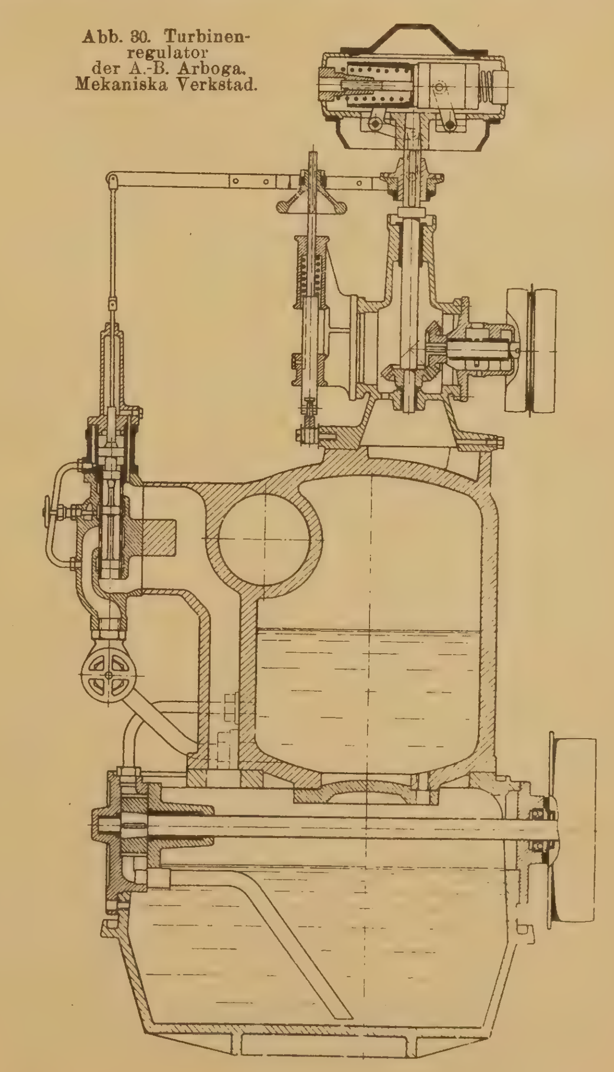


Abb. 30. Turbinenregulator der A.-B. Arboga, Mekaniska Verkstad.

nachgiebiger Rückführung mit elektrischer Geschwindigkeitsverstellung ausgerüstet. Beim kleinsten von der Firma hergestellten Regler von 100 m/kg Regulierarbeit auf den Kolbenhub arbeitet

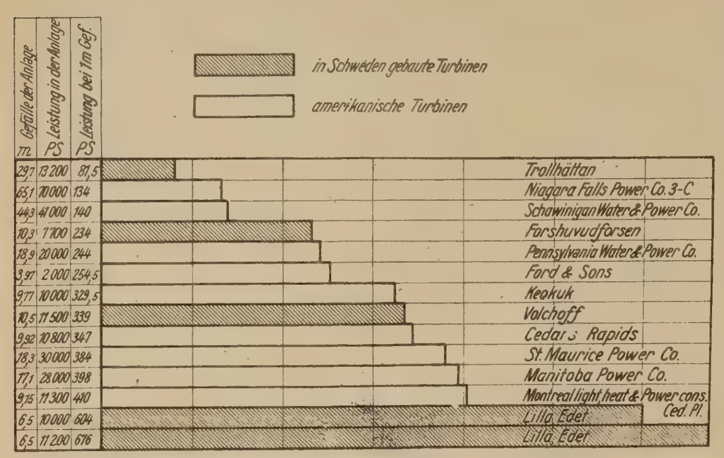


Abb. 31. Vergleich der größten angeführten oder in Ausführung begriffenen Turbinen.

die Zahnradpumpe ohne zwischengeschalteten Windkessel unmittelbar auf den Servomotor. Solange kein Drucköl im Servomotor verbraucht wird, wird das von der Pumpe geförderte Öl durch ein Sicherheitsventil in die Ölbehälter zurückgeleitet.

Zusammenfassung.

Seit etwa 2 Jahrzehnten sind auf Ausstellungen nur Francis- und Peltonturbinen vertreten gewesen. In Gothenburg waren zwei neue Typen ausgestellt, die Kaplanturbine und die Lawaczeckturbine. Von der Kaplanturbine waren außer einem kleinen Modell interessante Zeichnungen und Prüfungsergebnisse vorgeführt, die zeigen, daß die Ansprüche, die Professor Kaplan für seine Konstruktion macht, in jeder Hansicht erfüllt sind. Die für das staatliche Kraftwerk in Lilla Edet im Bau befindliche Turbine steht heute in bezug auf Abmessungen an der Spitze.

Auch die A.-B. Finshyttan hat einen neuen Radtyp, die Lawaczeckturbine, aufzuweisen. Sie hat diese Bauart in verhältnismäßig kurzer Zeit durchstudiert und entwickelt und wird sie, ebenso wie Verkstaden in Kristinehamn die Kaplanturbine, zum ersten Mal als Großturbine bei der Anlage Lilla Edet anwenden. An konstruktiven Neuerungen sei noch der schwebende Regulierring erwähnt.

Die A.-B. Arboga Mekaniska Verkstad in Arboga zeigte in dem mechanischen Spannungsregler, Patent Otto E. Smith, wenn auch keinen neuen, so doch einen weniger bekannten Apparat.

Einen interessanten Vergleich der größten ausgeführten oder in Ausführung begriffenen Turbinen gibt Abb. 31. Sie besagt, welche Leistung die Turbinen einiger der bemerkenswertesten Anlagen der Welt bei 1 m Gefäll abgeben würden, und zeigt, daß die für Lilla Edet in Ausführung begriffenen Lawaczeckturbinen die größten zur Zeit geplanten amerikanischen Turbinen unter gleichen Verhältnissen um 47 vH übertreffen, und daß die für dieselbe Anlage in Ausführung begriffene Kaplanturbine die betreffenden amerikanischen Turbinen sogar um 65 vH an Leistung übertreffen. [A 1985]

Das Gibsonsche Wassermeßverfahren.

Von Dipl.-Ing. Kurt Pantell, Charlottenburg.

Theorie, Beschreibung und Kritik der Gibsonschen Wassermessungen in Turbinenleitungen.

Die im Sommer 1920 vorgenommenen Untersuchungen der drei 37 500 PS-Turbinen der Niagara Falls Power Co., Werk 3, ergaben außerordentlich hohe Wirkungsgrade (bis 93 vH); die Wassermengen wurden dabei nach einem neuen, von N. R. Gibson angegebenen Verfahren mit einem von ihm entworfenen Apparat gemessen[1]). Eine Nachprüfung der Ergebnisse war bis vor kurzem unmöglich, weil eine genaue Beschreibung der Wassermessung fehlte. Nun hat Gibson im Dezember 1923 einen Vortrag gehalten, der vorher von der American Society of Mechanical Engineers abgedruckt worden war. Auf diese Veröffentlichung stützen sich die nachfolgenden Ausführungen.

Die theoretische Grundlage des neuen Meßverfahrens bildet das Newtonsche Gesetz: Kraft = Masse × Beschleunigung oder

$$P = m \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Verzögert man in einer von Wasser durchströmten Rohrleitung die Wassermasse durch allmähliches Abschließen des untern Rohrendes, so steigt der Druck entsprechend obigem Gesetz an. Der weiter unten beschriebene Gibsonsche Apparat besteht aus einer Vorrichtung, die den Druck an einem Punkte der Rohrleitung in Abhängigkeit von der Zeit, d. h. die Fläche $\int P\,\mathrm{d}t$, aufzeichnet. Da nach Gl. (1)

$$\int_0^t P\,\mathrm{d}t = m \int \mathrm{d}v = m\,(v_0 - v_t) \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

ist, kann aus dieser Fläche die vernichtete Geschwindigkeit $(v_0 - v_t)$, die wiederum ein Maß für die abgedrosselte Wassermenge ist, bestimmt werden.

Da der Druck nicht nur der Zeit, sondern infolge der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Druckstoßes auch dem Orte nach wechselt, dürfen bei der Diagrammauswertung die Zeitzwischenräume nicht kleiner als die Hin- und Rücklaufzeit der Druckwelle genommen werden, da nur über diesen Zeitraum die an einer Stelle gemessene mittlere Druckänderung der mittleren Geschwindigkeitsänderung der gesamten in Betracht kommenden Wassermasse entspricht. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Druckwelle beträgt[2])

$$a = \sqrt{\frac{\frac{g}{\gamma}}{\frac{1}{e} + \frac{1}{E}\frac{D}{s}}} \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

worin g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/s², γ das spezifische Gewicht des Wassers = rd. 1000 kg/m³, e und E die Elastizitätsmoduln des Wassers bzw. des Rohrmaterials, D den Rohrdurchmesser und s die Rohrwandstärke bedeuten. a ist also unabhängig vom Druck. Befindet sich der Meßpunkt (Anschlußstelle der Meßvorrichtung) L m vom obern Rohrende entfernt, so ist die Laufzeit der Druckwelle

$$\mathrm{d}t = \frac{2L}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Die gesamte Schließzeit T des Absperrorgans muß also entweder ein ganzes Vielfaches dieser Zeit $\mathrm{d}t$ sein, oder T muß soviel größer als $\mathrm{d}t$ gemacht werden, daß diese Bedingung praktisch genügend genau erfüllt ist.

Da im Gibson-Apparat nicht der Gesamtdruck P, sondern der spezifische Druck h als Flüssigkeitssäule aufgezeichnet wird und die Wassermasse $m = \frac{F L \gamma}{g}$ ist, wobei F den Rohrquerschnitt bedeutet, ergibt sich, wenn man die Elastizität von Wasser und Rohrmaterial sowie die Veränderlichkeit von γ mit der Höhenlage außer acht läßt:

$$F \int_0^t h\,\mathrm{d}t = \frac{F L}{g}(v_0 - v_t)$$

und

$$\int_0^t h\,\mathrm{d}t = \frac{L}{g}(v_0 - v_t) = \text{Diagrammfläche} = A_t \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Für die Schließzeit T wird $v_T = 0$, also

$$\int_0^T h\,\mathrm{d}t = \frac{L}{g} v_0 = \text{Diagrammflache} = A_T \quad . \quad . \quad . \quad (6),$$

$$v_0 = \frac{g}{L} A_T \quad . \quad . \quad . \quad (7),$$

wobei natürlich der Maßstab des Diagramms zu berücksichtigen ist. Die Wassermenge, die unmittelbar vor Beginn der Schließbewegung durch die Rohrleitung strömt, beträgt

$$Q = F v_0 = \frac{F g}{L} A_T \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

[1]) Vergl. Power Bd. 53 vom 22. März 1921 und Z. Bd. 65 (1921) S. 806.

[2]) Vergl. L. Alliévi, Allgemeine Theorie über die veränderliche Bewegung des Wassers, deutsche Ausgabe von R. Dubs, S. 19.

Ist das Rohr aus Stücken mit verschiedenem F zusammengebaut, so ist $\sum \frac{F}{L}$ statt $\frac{F}{L}$ zu setzen.

Der Gibson-Apparat besteht aus einem mit Quecksilber gefüllten U-Rohr, dessen einer Schenkel an die vom Wasser durchströmte Rohrleitung angeschlossen ist, während der andre offen bleibt. Durch geeignete Wahl des Querschnittverhältnisses der beiden Schenkel kann man die Diagrammhöhen stets den gegebenen Verhältnissen anpassen. Der Schatten der Quecksilbersäule wird durch eine Linse auf einen schmalen Spalt in der Wand eines lichtdichten Kastens geworfen, hinter dem ein lichtempfindlicher Film vorbeibewegt wird. Die Aufhängungsstange eines vor dem Schlitz schwingenden Sekundenpendels unterbricht mit jedem Vorbeigehen für einen Augenblick die Belichtung, wodurch die Geschwindigkeit der Filmbewegung im Bilde festgehalten wird.

Abb. 1 zeigt ein so erhaltenes Diagramm. Die schraffierte Fläche ist die vom Quecksilberschatten verdeckte, also unbelichtete. Da das Bild die Schwankungen der Quecksilbersäule in dem an die Rohrleitung angeschlossenen Schenkel des U-Rohres wiedergibt, entspricht einer Senkung des Quecksilberspiegels eine Druckzunahme; der Druck ist also nach unten positiv zu messen. Zunächst ist die belichtete Fläche, die wegen der endlichen Breite des Schlitzes, durch den die Aufnahme erfolgt, zu groß ist, dadurch zu berichtigen, daß auf den absteigenden Kurvenästen, OB_1, C_1B_2, C_2B_3, usw., die Schlitzbreite abgenommen wird, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet ist. Zur Auswertung des Diagramms sind noch die Aufzeichnungen eines selbstschreibenden Oberwasserpegels erforderlich.

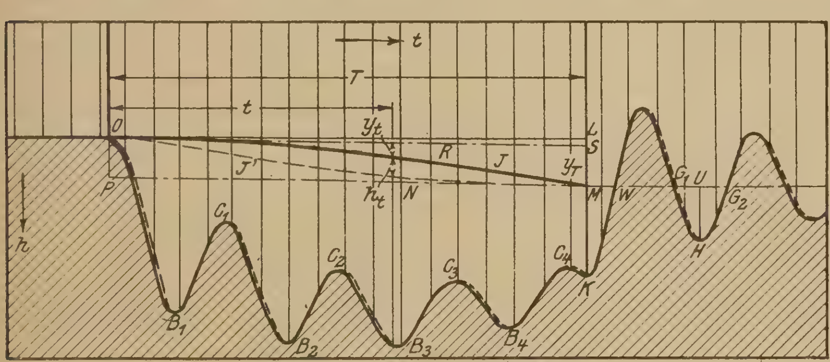


Abb. 1. Diagramm des Gibson-Apparates.

Punkt O ist der Beginn, Punkt K das Ende des Diagramms; die Strecke $OL = T$ stellt die Schließzeit der Leitschaufeln dar. Nach Abschluß setzen sich die Druckschwankungen als durch Reibung gedämpfte Schwingungen fort. Um die obere Begrenzungslinie des Diagramms zu finden, sind zunächst aus den Pegelaufzeichnungen die statischen Druckhöhen — Linie $PNMU$ — einzutragen. Zieht man $ORS \parallel PNM$, so stellt MS die durch das Abschließen zurückgewonnene Geschwindigkeits- und Reibungshöhe, $Y_T = (h_v + h_r)$ dar, die proportional v_0^2 ist. Die Schlußlinie OJM ist nun so zu legen, daß folgende Beziehungen erfüllt sind:

Für irgendeine Zeit t ist die zurückgewonnene Druckhöhe Y_t proportional dem Quadrat der vernichteten Geschwindigkeit $(v_0 - v_t)$, also

$$\frac{Y_t}{Y_T} = \frac{(v_0 - v_t)^2}{v_0^2}.$$

Da anderseits nach Gl. (5) und (6)

$$\frac{v_0 - v_t}{v_0} = \frac{A_t}{A_T} \text{ ist, folgt } \frac{Y_t}{Y_T} = \left(\frac{A_t}{A_T}\right)^2.$$

Bezeichnet man $Y_T - Y_t = h_t$ (Abb. 1) und $\frac{A_t}{A_T} = r$, so ergibt sich

$$\frac{h_t}{Y_T} = \frac{Y_T - Y_t}{Y_T} = 1 - \frac{Y_t}{Y_T} = 1 - r^2$$

und

$$h_t = Y_T (1 - r^2) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (9).$$

Für jede Zeit $t < T$ muß diese Bedingung durch die Schlußlinie erfüllt sein. Nach probeweisem Einzeichnen von OJM sind möglichst viele Punkte daraufhin nachzuprüfen und nötigenfalls zu berichtigen.

Da der Anfangspunkt O im Diagramm ebenso wie die Schließzeit T sich schwer bestimmen lassen, geht man zur Festlegung der Begrenzungsordinaten besser vom Schlußpunkt K aus. Punkt K ist ein Höchstpunkt der darauf folgenden Schwingungen von gleichbleibender Periode, aber abnehmender Amplitude. Da für diese Schwingungen zwischen der Höhe der Amplituden und ihren Koordinaten ein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht, der allgemein in Abb. 2 (entnommen aus der Gibsonschen Veröffentlichung) dargestellt ist, läßt sich aus Abb. 1 und 2 die Lage von K ermitteln. Die Größe der Ordinate KM kann als Abstand des Höchstpunktes K von der neutralen Linie PMU (Linie der statischen Druckhöhen, bestimmt aus den Pegelaufzeichnungen) auch ohne Kenntnis der genauen Lage von K in Abb. 1 abgemessen werden. Bezeichnet man

$$\frac{KM}{HU} = \frac{Y_{1\max}}{Y_{2\max}},$$

so ist aus Abb. 2 der zugehörige Wert $\frac{\pi - X_{1\max}}{\pi}$ ablesbar, und für die gesuchte Strecke WM besteht die Beziehung

$$WM : \frac{WG_2}{2} = \frac{\pi - X_{1\max}}{\pi}.$$

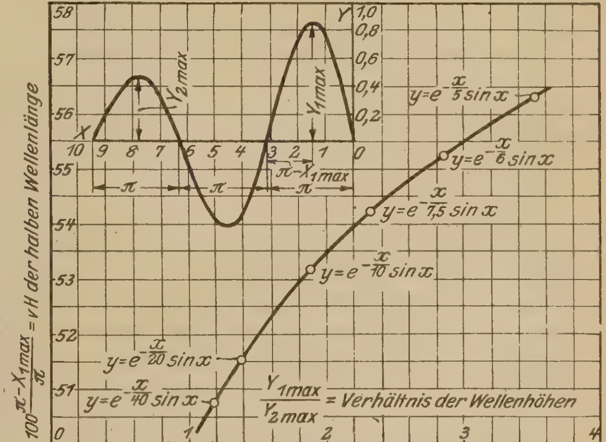


Abb. 2. Schaulinien zum Auffinden der Höchstpunkte gedämpfter Schwingungen.

Theoretisch ist das Meßverfahren einwandfrei, und auch die beiden in obigen Ableitungen gemachten, praktisch wohl meist unbedenklichen Einschränkungen, $T \gtrless \frac{2L}{a}$ sowie Nichtbeachtung der Wasser- und Rohrelastizität, können fallen gelassen werden, wenn man die Berechnung nach der Alliévischen Theorie entsprechend ergänzt. Tatsächlich setzt die Unempfindlichkeit der Meßvorrichtungen eine gewisse Länge der Rohrleitung voraus, da bei sehr kurzen Leitungen die Druckschwankungen zu gering werden. Gibson gibt als Kleinstwert 15 bis 30 m an. Ferner wäre zu untersuchen, welchen Einfluß Lage und Form des Absperrorgans auf die Meßgenauigkeit ausüben (z. B. Turbinenleitschaufeln, die außerhalb der eigentlichen Rohrleitung liegen und auf einen größeren Kreisumfang verteilt sind). Ist vollständiger Abschluß überhaupt nicht erzielbar, so ist die Leckwassermenge anderweitig zu bestimmen und ihre Größe und ihre Geschwindigkeit im Meßquerschnitt bei der Diagrammauswertung zu berücksichtigen.

In dem eingangs erwähnten Abdruck der Gibsonschen Rede sind am Ende die Ergebnisse einer Reihe von Messungen in der Versuchsanstalt der Cornell-Universität wiedergegeben, die gleichzeitig durch Auffüllen eines Standrohres volumetrisch nachgeprüft worden waren. Die beiden Meßarten zeigten dabei im Mittel nur eine Abweichung von 0,2 vH. Die Ableitungen der bei der Auswertung benutzten Formeln sind in der Veröffentlichung nur lückenhaft wiedergegeben, und in der hier mit (9) bezeichneten Gleichung ist $(1 - r)^2$ statt $(1 - r^2)$ gesetzt.

Dieser Fehler ist auch in dem angeführten Beispiel, das den Bremsungen der Niagara-Turbinen entnommen ist, beibehalten, wodurch die gestrichelt eingezeichnete Schlußlinie $OJ'M$, Abb. 1, anstatt der richtigen OJM entsteht. Die Diagrammfläche ergibt sich damit ebenso wie die Wassermenge um etwa 7 vH zu klein. [A 161]

Die Turbinen der Raanaasfoss-Wasserkraftanlage, Norwegen.

Von Ingenieur Hallgrim Thoresen, Kristiania.

Beschreibung der Turbinen einer norwegischen Großwasserkraftanlage mit Maschineneinbau für eine Gesamtleistung von 72 000 PS, u. zw. sechs 12 000 PS-Turbinen bei 12,25 m Gefäll in Zwillingsausführung mit wagerechter Welle, bis jetzt die größten ihrer Art in der Welt. Bericht über die Abnahmeversuche und ihre Ergebnisse[1].

Die Raanaasfoss-Kraftanlage, Abb. 1, nutzt ein Gefäll des größten norwegischen Flusses Glommen etwa 45 km nordwestlich von Kristiania aus. Sie bildet einen Teil des etwa 270 m langen, sich quer über den Fluß erstreckenden Dammes, durch den ein Speicher von 9 km² geschaffen wird. Die beiden Flüsse: Glommen, der in der Nähe der Stadt Röros in Ost-Norwegen entspringt, und Vormen, der seinen Ausgang aus dem westlichen Hochgebirge des Landes nimmt, vereinigen sich in dem von den Dämmen gebildeten Speicher. Da das zwischen Raanaasfoss und dem weiter unten liegenden Oeieren-See befindliche Gefäll, ebenso wie Raanaasfoss selbst, im Besitze des Akershus-Amtes sind, kann die Raanaasfoss-Kraftanlage die Reguliermöglichkeiten des Speichers bei Tage und bei Nacht ausnutzen, ohne Einsprüchen der Kraftwerke unterhalb Oeierens ausgesetzt zu sein.

Die Größe der Turbineneinheiten und die Wahl der Turbinenbauart.

Die kleinste Wassermenge des Flusses betrug zur Zeit des Ausarbeitens der Pläne 220 m³/s. Da aber durch Regelung höher liegender Seen eine Vermehrung des Niedrigwassers bis auf etwa 310 m³/s möglich ist, und die Ausführung eines Teiles dieser Regelung jedenfalls im Laufe der nächsten Zeit vorausgesetzt werden darf, so wurde für die Winterzeit eine kleinste Wassermenge von 270 m³/s der Maschineneinrichtung der Kraftanlage zugrunde gelegt. Da die Anlage mit Hilfe des großen durch den Staudamm gebildeten Speichers die bei Tag und Nacht entstehenden Schwankungen in der Kraftlieferung sollte ausnutzen können, wurde die Größe der Maschinen auf die Schluckfähigkeit von etwa 340 m³/s (270 m³/s + rd. 25 vH) eingerichtet.

Abb. 1. Gesamtbild der Wasserkraftanlage Raanaasfoss vom Unterwasser aus gesehen.

Das Gefäll beträgt im Winter beim Niedrigwasser etwa 13,2 m, kann aber bei großem Hochwasser wegen Aufstauung des Unterwasserspiegels auf etwa 9,5 m heruntergehen. Nach Aussprengen des tiefer liegenden Stromlaufs „Sundfossen" kann das Gefäll bei Niedrigwasser bis auf etwa 14 m erhöht werden.

Unter Berücksichtigung ausführbarer Maschinengrößen wurde in Aussicht genommen, die Wassermenge von 340 m³/s auf 4 Turbinensätze von je 85 m³/s zu verteilen. Um indessen eine entsprechende Kraftleistung während der Hochwasserzeit zu haben, wenn das Gefälle sinkt, und wegen etwaiger Lieferung von Hochwasserkraft im Sommerhalbjahr sowie um einige Reserven zu haben, wurde die Entscheidung getroffen, 6 Sätze, die je etwa 90 m³/s bei einem Gefäll von 12,25 m sollten ausnutzen können, einzubauen.

Durch diese Maschineneinrichtung können bei 340 m³/s Wassermenge und 13,2 m Gefäll 51 000 PS mittels vier Maschinen geleistet werden. Diese Leistung kann selbst beim Sinken des Gefälles auf 11 m (entsprechend 1000 m³/s Wassermenge im Fluß) durch Betrieb von 5 Maschinen aufrecht erhalten werden. Bei noch größerem Hochwasser als 1000 m³/s und entsprechend weiterer Verminderung des Gefälles müssen alle 6 Sätze in Betrieb gesetzt werden, um dieselbe Gesamtleistung abgeben zu können. Weil aber das größte Hochwasser nur von kurzer Dauer ist und immer während der Jahreszeiten eintrifft, wo der Kraftbedarf niediger ist als in der Winterszeit, ist keine Reserve für die etwaige Lieferung der vollen Kraftmenge in dieser Zeit für nötig befunden worden.

Die Entscheidung über die Größe der Turbinen wurde übrigens in Verbindung mit und unter Berücksichtigung der Wahl der Turbinenart getroffen. Verschiedene Ausführungsarten mit senkrechter wie auch mit wagerechter Welle wurden geprüft, doch blieb man bei der Verwendung liegender Zwillingsturbinen von 12 000 PS Leistung mit 107 Uml./min bei einem Nutzgefälle von 12,25 m. Diese Bauart war nicht nur die billigste, sondern beanspruchte auch die geringste Länge des Maschinenraumes, was wegen der Einschränkung des verfügbaren Platzes der Kraftstelle von größter Bedeutung war.

Liegende Zwillingsturbinen in offenem Schacht mit stirnseitigem Einlauf und gemeinsamen unter dem Maschinenhaus in der Wellenrichtung verlaufenden gebogenen Saugrohren versprachen mäßige Abmessungen und verhältnismäßig einfache Bauarbeiten. Die Anordnung ist ja schon lange für kleinere Abmessungen benutzt, aber auch während der letzten Jahre besonders in Schweden für größere Turbinen entwickelt worden. Die bisher ausgeführte größte Anlage dieser Art ist die der Stadt Stockholm bei Untra im Dalfluß[2]).

Die Anordnung von Zwillingsturbinen solch bedeutender Abmessungen wie im vorliegenden Fall bietet keine besonders großen Schwierigkeiten wegen der Zugänglichkeit der unter Wasser liegenden Lager. Selbst bei Anordnung eines in der Mitte des Saugkessels liegenden Lagers wird es konstruktiv möglich sein, dieses Lager zugänglich zu machen.

Die Turbinenschächte wurden bei Raanaasfoss auf der Ostseite des Flusses angeordnet und machen einen Teil des Staudammes aus. Vor dem Einlauf jedes Schachtes sind aufziehbare Grobrechen gebaut, die in Führungen aus U-Eisen gleiten. Dieselben Führungen können auch zum Einsetzen von Balkenwänden Verwendung finden, falls man den hinteren Teil der Turbinenschächte trocken legen will. Hinter den Grobrechen stehen die Einlaufschützen, zwei für jeden Schacht. Sie sind je 4,6 m breit und 11,0 m hoch und mit festen Rollen versehen. Hinter den Schützen liegen die Feinrechen, die 36 mm l. W. zwischen den Rechenstäben haben. Die Feinrechenfelder sind mit Rücksicht auf elektrische Erwärmung konstruiert; über den Rechen und Schützen ist ein Haus zum Schutz gegen den starken Frost im Winter errichtet, das durch Warmluft von den Stromerzeugern geheizt werden kann. Über sämtlichen Turbinenschächten läuft ein 25 t-Bockkran, der auf der Landseite bis über das Eisenbahngleis ausgefahren werden kann.

Die Turbinenwellen reichen durch die Schachtmauern in den Maschinenraum hinein, wo sie mit den Stromerzeugern gekuppelt sind. Unter der wasseraufwärts gelegenen Turbinenstirnseite verläuft ein Begehungskanal, von dem Einsteigrohre nach den Turbinenlagern führen.

Die Regler liegen im Maschinenraum nahe an der turbinenseitigen Wand und sind durch einen unter dem Boden verlaufenden Kanal zur Aufnahme der Ölleitungen miteinander verbunden.

Von den Turbinen sind die Nummern 1 bis 3 (von der Flußseite gerechnet) von Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Verkstad, Verkstaden in Kristinehamn, und die Nummern 4 bis 6 von der Firma I. M. Voith, Heidenheim, geliefert.

[1]) Das Folgende ist ein Teil des offiziellen von Akershus Elektricitetsverk über die ganze Anlage ausgearbeiteten Berichtes.

[2]) Z. Bd. 67 (1923) S. 448.

Da die geplanten Turbinen, soweit bekannt, größer wurden als alle bis jetzt ausgeführten liegenden Zwillingsturbinen, waren die ausführenden Firmen vor eine schwierige Aufgabe gestellt. Sie hatten freie Hand hinsichtlich der Wahl der Regler und Anordnung der Lagerstellen für die Turbinen. Es mußte aber natürlich Sorge getragen werden, daß sich die Anordnungen den gemeinsamen Untersuchungs- und Ölrohrkanälen anpassen ließen und daß auch ihr Aussehen, vom Maschinenraum aus betrachtet, zu einander paßte.

Die beiden Firmen haben somit unabhängig von einander gearbeitet, je ihre Erfahrungen ausnutzend; trotzdem hielt sich aber das Gewicht der gelieferten Maschinen in erstaunlich engen Grenzen. Die Turbinen mit Regler von Verkstaden wogen 234 000 kg, die von Voith 226 000 kg das Stück.

Für sämtliche Turbinen galten folgende Daten: $H = 12{,}25$ m netto, $Q = 92$ m³/s, $n = 107$ Uml./min, Leistung je 12 000 PS.

Der höchste verbürgte Wirkungsgrad betrug 85 vH, und zwar für etwa 10 500 PS.

Bei 13,2 bzw. 14,0 m Gefälle bedeutet dies eine größte Leistung von 13 400 bzw. 14 600 PS und eine Schluckfähigkeit von etwa 99 m³/s Wassermenge.

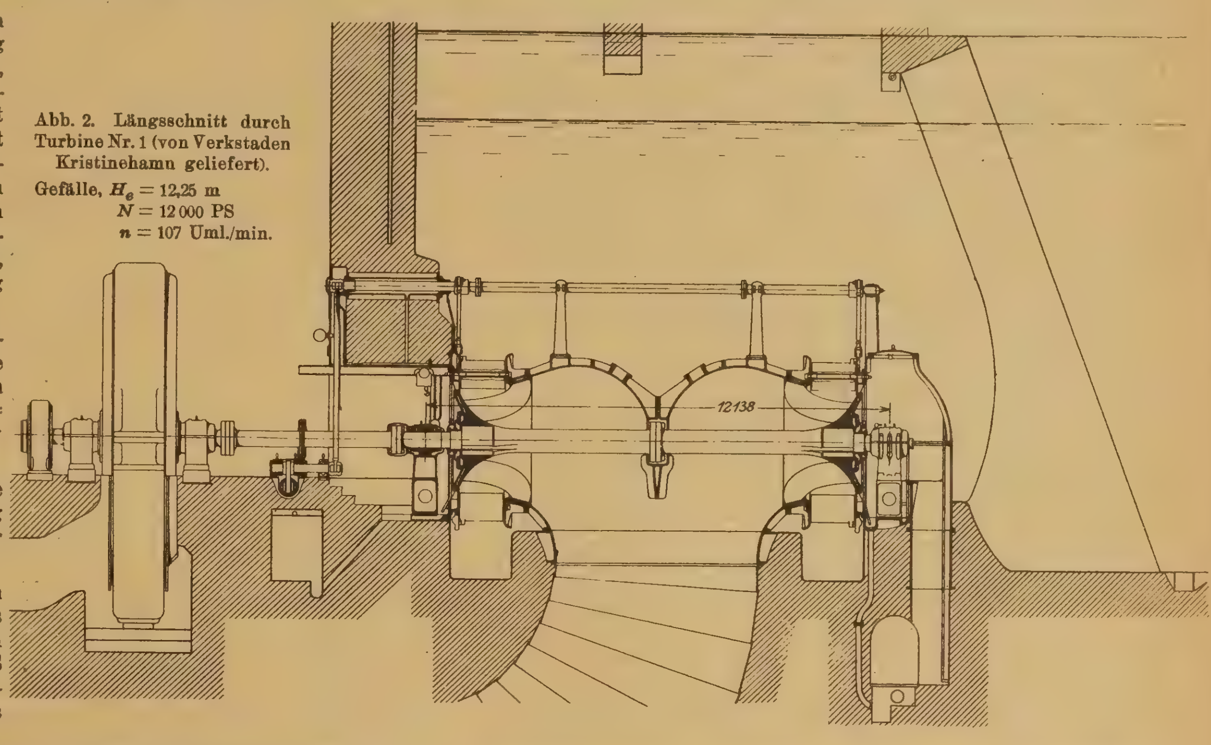


Abb. 2. Längsschnitt durch Turbine Nr. 1 (von Verkstaden Kristinehamn geliefert).
Gefälle, $H_e = 12{,}25$ m
$N = 12\,000$ PS
$n = 107$ Uml./min.

Laut Vertragvorschrift wurden von beiden Lieferern in ihren Versuchstellen Proben mit verschiedenen Modellrädern von 650 bis 700 mm Durchflußdurchmesser vorgenommen, um die möglichst beste Laufradkonstruktion herauszufinden. Die Modellräder wurden in einem halben Saugkrümmer, ähnlich dem für die Anlage bestimmten Krümmer, geprüft. Die Versuche wurden vom Besteller überwacht, der auch das Recht hatte, selbst wenn nach dem Vertrag befriedigende Ergebnisse erreicht waren, weitere Versuche gegen besondere Vergütung zu verlangen.

Die Ausführung der Modellräder ist, wie aus den später in diesem Bericht erwähnten Abnahmeversuchen hervorgehoben wird, für die Anlage von größter Bedeutung gewesen.

Die verschiedenen Turbinengruppen werden im folgenden beschrieben.

Die Turbinen 1 bis 3 von Aktiebolaget Karlstads Mekaniska Verkstad, Verkstaden in Kristinehamn.

Wie schon oben erwähnt, sind die Turbinen als Zwillingsturbinen mit liegender Welle ausgeführt, wie auch Abb. 2 und 3 erkennen läßt. Damit man sich einen Begriff von der Turbinengröße machen kann, sei erwähnt, daß der Abstand zwischen den beiden die Turbinenwelle tragenden Lagern mehr als 12 m und das Gewicht einer Turbine mit Regler 234 000 kg beträgt.

Die L a u f r ä d e r haben Schiffblechschaufeln, die in den Boden und den Kranz aus bestem schwedischem Stahlguß eingegossen sind. Der größte Durchmesser der Laufräder beträgt 3340 mm, und es waren die Räder zu der Zeit, als sie verarbeitet wurden, gewiß die größten mit Stahlblechschaufeln ausgeführten Turbinenräder. Später hat aber Verkstaden Räder dieser Form mit einem größten Durchmesser von 5030 mm, mit eingegossenen gußeisernen Schaufeln ausgeführt, und zwar für Rechnung des russischen Staates.

Da sich Stahlblech hinsichtlich der Abnutzung als widerstandsfähiger als Gußstahl erwiesen hat — was besonders bei schnellaufenden Turbinen als sehr wichtig angesehen wird — wurde es hauptsächlich aus diesem Grunde für die Laufradschaufeln gewählt. Stahlblech hat außerdem eine glattere Oberfläche, was für den Wirkungsgrad von Bedeutung ist.

Der S a u g k e s s e l ist von der gleichen Form, wie sie früher für die Untra-Werke verwendet wurde, und die nach umfangreichen Versuchen in der Versuchsstelle von Verkstaden entstanden ist. Es wurde durch diese Versuche festgestellt, daß für die Erreichung eines guten Wirkungsgrades die Form des Saugkessels von wenigstens ebenso großer Bedeutung ist wie die des Laufrades, und daß ganz kleine Änderungen des Saugkessels den Wirkungsgrad bis 5 und 6 vH herabsetzen können.

Der Saugkessel ist, um seine Herstellung zu erleichtern, in 16 durch kräftige Flanschverbindungen zusammengehaltene Teile zerlegt, Abb. 4, und auf einem kräftigen Tragring mit ovalem Durchflußquerschnitt in vier Teilen aufgebaut. Der Saugkessel mit Tragring wiegt zusammen 64 900 kg.

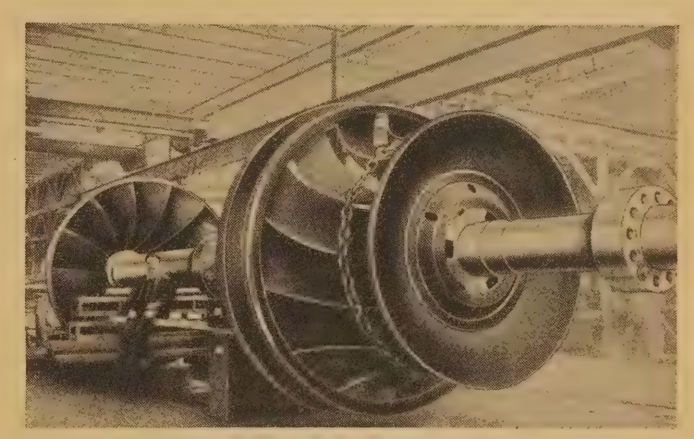


Abb. 3. Laufräder der Turbine Nr. 1.

Die T u r b i n e n w e l l e ist dreiteilig und von bedeutenden Abmessungen. Die Gesamtlänge beträgt 17,8 m. Die Teile sind mittels angeschmiedeter Flanschen miteinander verbunden, von denen eine in der Mitte des Saugkessels angeordnet ist. Die Welle ist in ihrer ganzen Länge durchbohrt und wird von 2 Lagern in 12,138 m Abstand getragen. Weil die Welle nicht im Saugkessel gelagert wurde, mußte sie besonders reichlich bemessen werden, um die Durchbiegung zu vermindern. Der Durchmesser der Welle zwischen den Laufrädern beträgt 625 mm.

Die L a g e r sind mit sphärischen Lagerschalen ausgeführt. Die etwa in der Wellenrichtung auftretenden Kräfte werden hydraulisch ausgeglichen, so daß die Lager ohne Kämme ausgeführt werden konnten. Hierdurch und auch durch die Einstellbarkeit der Lagerschalen sind die Lager besonders betriebsicher geworden. Die Lagertemperatur übersteigt nicht 30 °C, selbst wenn keine Wasserkühlung benutzt wird. Eine Kühlleitung ist jedoch gemäß der Vertragsvorschrift eingebaut worden.

Das wasseraufwärts gelegene Lager ist in einem Raum untergebracht, in den man durch ein senkrechtes Einsteigrohr vom Bedienungskanal aus gelangt, der unter allen Turbinen hinwegführt.

Für den Ausbau des wasseraufwärts gelegenen Lagers, der Oberschale usw., dient ein gewöhnlicher Flaschenzug, der in einem Ring über dem Lager aufgehängt ist. Für das im Maschinensaal liegende Lager wird ein mit einer Laufkatze zusammengebauter Flaschenzug benutzt. Der Laufkatzenträger ist auswechselbar und kann in den verschiedenen Nischen für den Lagereinbau Verwendung finden.

Die Turbinenwellen werden da, wo sie durch die Deckel der Leitapparate gehen, in Labyrinthbüchsen der Verkstaden patentierten Bauart gedichtet.

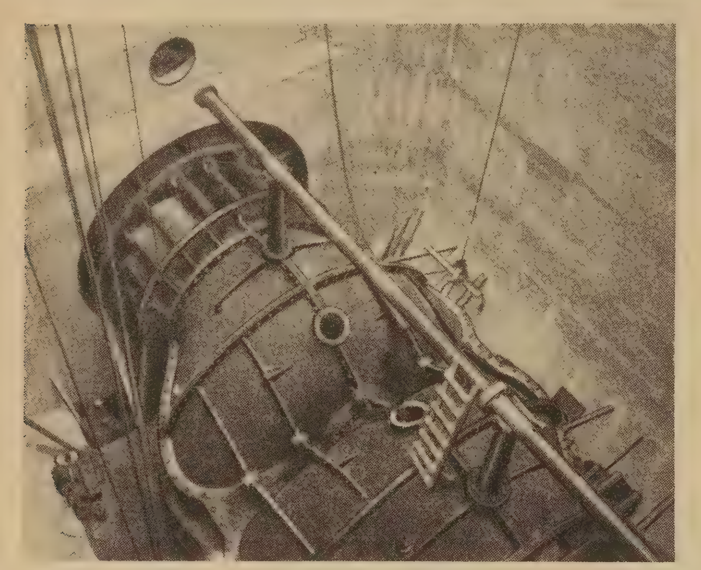


Abb. 4. Turbine 1, Saugkessel und ein Leitapparat fertig eingebaut.

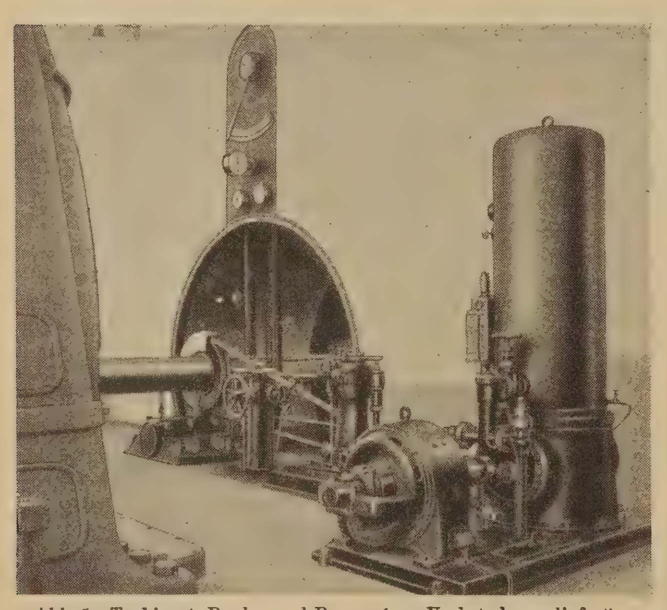


Abb. 5. Turbine 1, Regler und Pumpe (von Verkstaden geliefert).

Die Leiträder, die die Wasserzufuhr nach den Laufrädern regeln, haben sogenannte Innenregelung, d. h. der Regulierring ist im Wasserschacht angeordnet, aber sowohl die Leitschaufelwellen als auch der Regulierring können während des Betriebes mit Starrfett vom Maschinenraum aus geschmiert werden.

Die Innenregulierung ist für diese Turbinenbauart bedeutend einfacher als die Außenregelung und hat sich als sehr betriebsicher und dauerhaft erwiesen. Beispielsweise kann erwähnt werden, daß die Regulierteile der großen 12 500 PS-Turbinen der schwedischen Staatskraftanlage bei Trollhättan, die etwa dreizehn Jahre fast ununterbrochen in Betrieb gewesen sind, so wenig abgenutzt waren, daß noch keine einzige Dichtung ausgewechselt werden mußte.

Für Turbinen für größere Gefälle und niedrigere spezifische Drehzahl wird dagegen von Verkstaden die Außenregelung benutzt, weil dabei die Wassergeschwindigkeit durch die Leitschaufeln größer und die Leitschaufelhöhe geringer wird, so daß die Leitschaufelgelenke für den Wasserstrom hinderlicher sein würden.

In jedem Leitapparat befinden sich 20 Leitschaufeln aus Stahlguß. Jede Schaufel kann ohne Ausbau anderer Teile herausgenommen werden.

Der Regulierring, der durch Lenker und Bolzen mit den Schaufeln verbunden ist, besteht aus Stahlguß und ist auf Rollen gelagert, die in ihm eingebaut sind. Zum Schutz und zum Schmieren der Rollen wird dieser Raum mit Starrfett gefüllt, das vom Maschinensaal aus eingepreßt werden kann.

Beide Regulierringe werden durch Hebel und Gelenke von einer über den Turbinen angeordneten Welle aus bewegt.

Um das Federn dieser Welle auszuschalten, sind die Hebel im Verhältnis zueinander verstellt, so daß die Leitschaufeln beim Schließen wirklich dicht werden.

Dank dieser Verstellung und einer genauen Bearbeitung ist das Dichten so vollkommen, daß die Turbinen in verhältnismäßig kurzer Zeit ohne Verwendung von Bremsen stillstehen.

Um die Wasserzufuhr zum unteren Teil der Leitvorrichtung zu verbessern, ist der Schachtboden unter den Leitapparaten als Spiralgehäuse geformt. Eine derartige Ausformung ist früher mit gutem Erfolg bei der Untra-Kraftanlage benutzt.

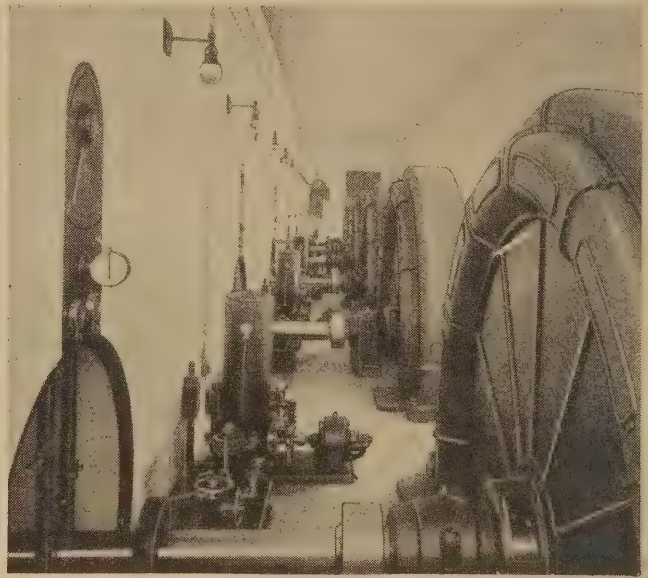


Abb. 6. Maschinensaal, Turbinenseite.

Die Deckel der Leitapparate nach dem Maschinensaal und nach dem lageraufwärts gerichteten Raum bestehen aus Stahlguß. Die Leitapparatringe, die mit dem Saugkessel zusammengeschraubt sind, bestehen dagegen, wie auch der Saugkessel selbst, aus Gußeisen.

In der Nische nach dem Maschinenraum ist ein kräftiger, an die Leitraddeckel angeschlossener Rahmen eingemauert, in dem das generatorseitige Ringschmierlager untergebracht ist. Die Nische ist innen mit Stahlblech bekleidet, und zwischen der Blechwand und dem Beton befindet sich ein drainierter Zwischenraum zur Aufnahme von Sickerwasser aus dem Beton.

Diese Anordnung hat sich als zweckmäßig erwiesen, weil dadurch die sonst in den Nischen üblichen Feuchtigkeitsflecke vermieden werden.

Abb. 6 gibt schließlich noch einen Blick in den Maschinensaal, von der Turbinenseite aus gesehen.

Jede Turbine hat ihren vollständigen Regler, der von den übrigen Reglern unabhängig betrieben wird, aber auch durch gemeinsame Rohrleitungen mit ihnen gekuppelt werden kann.

Der Regler besteht aus 3 Hauptteilen: Servomotor, Pendelsäule und Ölpumpe, Abb. 5. Der Servomotor ist mitten unter der Turbinenwelle mit den Zylindern unter dem Boden angeordnet. Die Zylinder haben 400 mm Dmr. Es steht somit bei 15 at Öldruck ein Reglerdruck von 19 000 kg zur Verfügung. Der Kolbenhub beträgt 550 mm. Mit dem Servomotor ist ein Handregelventil für Drucköl zusammengebaut, welche Teile zusammen eine vollständige Handregelung ausmachen. Es besteht somit die Möglichkeit, die Turbine ganz unabhängig von der selbsttätigen Regleranordnung (Pendelsäule und Regelventil und Rückführung) zu betreiben, wenn eine Ausbesserung oder Besichtigung notwendig sein sollte.

Das Reglerpendel wird mittels Doppelriemens von der Turbinenwelle aus angetrieben. Außerdem sind die der Firma Verkstaden patentierten Hubbegrenzungsanordnungen vorhanden, die eine leichte Einstellbarkeit der größten Leitschaufelöffnung ermöglichen.

Die Ölpumpe wird von einem Elektromotor angetrieben; sie besteht aus einer reichlich groß bemessenen Zahnradpumpe, die mit dem in den Boden versenkten Windkessel auf dem Ölbehälter zusammengebaut ist. Die Pumpe ist mit Sicherheitsventil und Druckauslösventil versehen, das, wenn der Windkesseldruck das eingestellte Maß erreicht hat, die Verbindung zwischen der Pumpe und dem Windkessel umschaltet, so daß das Öl von der Pumpe unmittelbar nach dem Ölbehälter ohne Gegendruck zurückläuft. Hierdurch wird eine Entlastung der Pumpe erreicht und infolgedessen das Öl nur unbedeutend erwärmt, wodurch wieder besondere Kühlleitungen vermieden werden können.

Alle Rohrleitungen, die den Servomotor, das große Reglerventil und die Ölpumpe verbinden, sind in einem begehbaren Kanal unter dem Boden angeordnet und können demgemäß ausgebaut werden, ohne daß der Fußboden des Maschinenhauses mit Öl beschmutzt wird. In demselben Kanal ist auch eine für alle Regler gemeinsame Entleerleitung untergebracht, durch die das Öl, wenn erwünscht, einem tieferliegenden Behälter zugeführt werden kann. Aus diesem Behälter kann es wieder in jeden einzelnen Regler eingepreßt werden.

Um die Synchronisierung und die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Turbinendynamos zu ermöglichen, sind die Regler in gewöhnlicher Weise mit elektrisch betätigter Drehzahlverstellung versehen.

Abb. 7 und 8 zeigen die Ergebnisse der Reglerversuche. Bei diesen Versuchen erfolgten die Ent- und Belastungen durch den Ölschalter.

Die Turbinen 4 bis 6 von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

Wie bei der Beschreibung der Turbinenanordnung schon erwähnt, sind diese Turbinen Zwillinge mit liegender Welle, wie dies auch aus Abb. 9 ersichtlich wird, die zugleich einen Begriff von der Größe der Turbinen gibt, deren Höhe 6,25 m, Gesamtlänge 13,3 m beträgt, und die, wie auch bereits erwähnt ist, mit Regler 226 000 kg wiegt. An Schluckfähigkeit übertreffen diese Turbinen alle bisher in Deutschland gebauten, indem sie bei 14 m Gefäll rd. 100 m³/s Wasser zu verarbeiten vermögen.

Die Laufräder haben Stahlblechschaufeln von 17 mm Stärke, die in den Boden und den Kranz aus Stahlguß eingegossen sind. Die Laufradböden sind mit den auf der Welle verkeilten Nabenscheiben aus Stahlguß durch Flanschen verbunden. Der Durchmesser der Laufräder beträgt am Boden 2300 mm, am Austritt 3460 mm. Die Naben sind gegen den Laufradaustritt hin so geformt, daß sie eine gute Führung für das abströmende Wasser bilden; in den Deckelräumen greifen sie mit gedrehten Nasen in Spaltringe ein, die den Austritt des Wassers in die Kammern vor den Wellen-Stopfbüchsen beschränken. Schlitze in den Nabenkörpern gestatten dem Wasser den Abfluß aus den Deckelräumen in die Saugkrümmer.

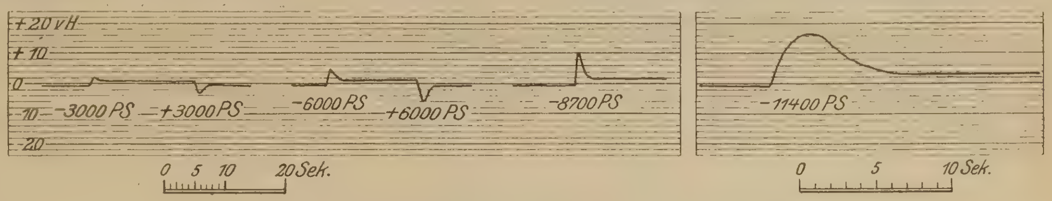


Abb. 7 und 8. Diagramme der Regulierversuche an Turbine 2.

Abb. 9. Längsschnitt durch Turbine 4 (von J. M. Voith, Heidenheim, geliefert).
$H_e = 12{,}25$ m,
$N = 12\,000$ PS,
$n = 107$ Uml./min.

Die Leitschaufeln aus Stahl sind 1050 mm breit und haben Außenregelung, so daß alle Gelenke außerhalb des Wassers liegen und ebenso wie die beiden Leitschaufel-Drehzapfen während des Betriebes geschmiert werden können, Abb. 9 und 11.

Die beiden Leitschaufellager sind mit Deltametall ausgebuchst und werden je mittels einer Staufferbüchse geschmiert. Das zunächst liegende Lager erhält das Fett durch einen kurzen schrägen Kanal im Stopfbüchsenkörper, während dem andern das Schmiermittel durch eine die Leitschaufel und die Leitschaufelzapfen durchdringende Bohrung zugeführt wird. Die Schmierbüchsen befinden sich an den Stirnwänden der Turbine, deren eine in einer Nische des Maschinenraumes, deren andere im Bedienungsraum am wasseraufwärts gelegenen Ende der Turbine liegt. An beiden Stellen ist durch eiserne Treppen für leichte Zugänglichkeit der Schmierbüchsen gesorgt.

Um einzelne Leitschaufeln leicht herausnehmen zu können, hat die Firma folgende ihr geschützte Bauart angewandt. Auf der Krümmerseite sind die Lager der Leitschaufelzapfen zweiteilig ausgeführt, so daß nach Entfernung eines Segments des Wasserführungsschildes der betreffende Lagerdeckel abgenommen werden kann. Auf der anderen Seite der Leitschaufel kann nach Weg-

nahme des Regelhebels die Stopfbüchse über den Zapfen herausgezogen werden. Die Leitschaufel läßt sich sodann nach der Krümmerseite hin entfernen. Diese Anordnung vermeidet die sich bei anderen Außenregelungen einstellende Notwendigkeit, einer zu ersetzenden Leitschaufel wegen die Regelhebel sämtlicher Leitschaufeln abzuziehen, die vielen Deckelschrauben zu lösen und den schweren Turbinendeckel abzunehmen.

Die Welle der Turbine, die eine Gesamtlänge von 18 m und einen größten Durchmesser von 475 mm sowie am Kammlager 275 mm Stärke hat, ist dreiteilig, so daß man beim Aufstellen der Turbine, also vor dem Aufsetzen der Hauben auf die Unterteile der Saugkrümmer und Bedienungsräume, die einzelnen Wellenstücke (zwei davon mit je einem Laufrad) bequem mit dem Laufkran in die Lager legen kann. Die Welle wird von drei wassergekühlten Ringschmierlagern getragen; das Lager am Wellenende ist als Kammlager ausgeführt und trägt an der Stirnfläche die Vorrichtung zum Einspritzen von Kühlwasser in den ausgebohrten Kammzapfen, das mittlere ist zwischen den beiden Saugkrümmern angeordnet. Durch das Zwischenlager wurde erreicht, daß die größte Lagerentfernung 6,575 m beträgt, während bei Verzicht darauf sich eine solche von etwa 12,5 m ergeben hätte. Übrigens läßt sich die Anordnung eines solchen Lagers der von Voith verwendeten Saugkrümmerform leicht anpassen, wie auch die kleinere Lagerentfernung trotz mäßiger Abmessungen eine geringere Durchbiegung der Welle mit sich bringt. Zur Sicherung der Wasserströmung sind außerdem unterhalb der Welle Führungswände in die gußeisernen Krümmer eingenietet.

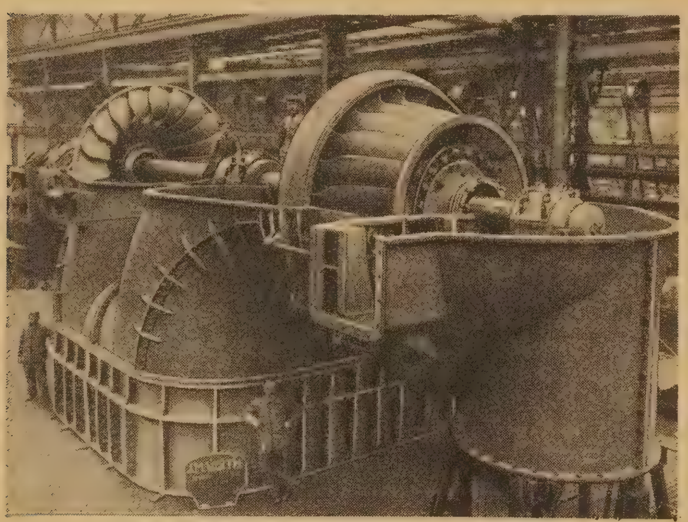


Abb. 10. Turbine 4 in der Werkstatt in Heidenheim, die Laufräder in der unteren Hälfte des Saugkessels liegend.

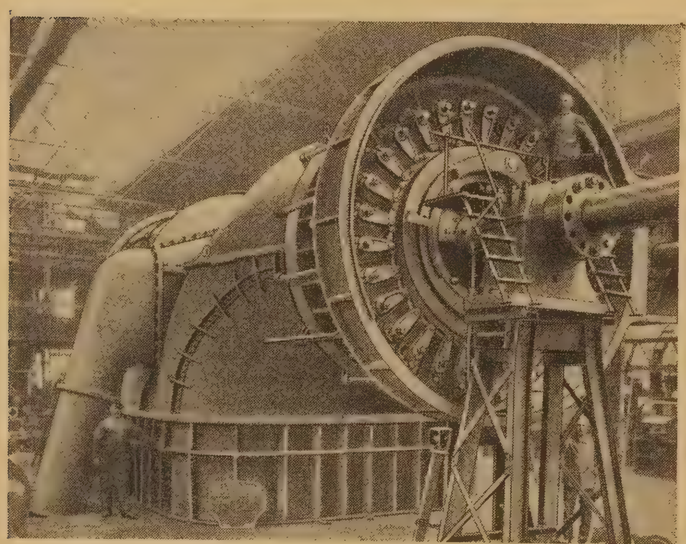


Abb. 11. Turbine 4, zusammengestellt von der Maschinensaalseite gesehen.

Jeder der beiden Saugkrümmer ist in der senkrechten und in der wagerechten Mittelebene geteilt, besteht also aus vier Teilen, die durch Flansche und Schrauben miteinander verbunden sind. Dadurch entstehen Gußstücke von eindrucksvoller Größe, wie sie allerdings nur von besten Gießereien geliefert werden können. In den Oberteilen der Saugkrümmer sind Mannlochstutzen angeordnet und durch Rippen verstärkte Augen für Aufhängeösen. Die beiden Saugkrümmer vereinigen sich in dem 5,32 × 5,32 m im Lichten messenden gußeisernen Tragring, der in die Sohle der Turbinenkammer unter Verankerung mit der Rundeisenbewehrung einbetoniert ist.

Der gegen das Wasser abgeschlossene Bedienungsraum des Zwischenlagers ist durch ein schräg nach der Sohle der Wasserkammer hinabführendes Einsteigrohr, das in dem im Grundmauerwerk ausgesparten Gang endet, während des Betriebes zugänglich. Durch ein 2 m weites senkrechtes Einsteigrohr gelangt man in gleicher Weise aus den Bedienungsstollen in den Raum, welcher der Wartung des Kammlagers und der Regelteile der dem Oberwasserkanal zugekehrten Turbinenhälfte dient.

Die Hebel auf den Leitradzapfenenden sind in üblicher Weise mittels kurzer Lenker an die beiden großen Verstellringe angeschlossen, die ihrerseits durch Schubstangen von doppelarmigen Hebeln auf der Regelwelle verstellt werden. In allen Gelenken läuft Stahl auf Bronze, und alle können während des Betriebes beobachtet und geschmiert werden. Die Regelwelle hat 300 bis 410 mm Dmr., und ihre beiden Teile sind durch eine Muffenkupplung miteinander verbunden. Ihr vorderes Ende ist im Regler selbst gelagert und trägt dort einen Gabelhebel, an dem der Kolben des Servomotors angreift.

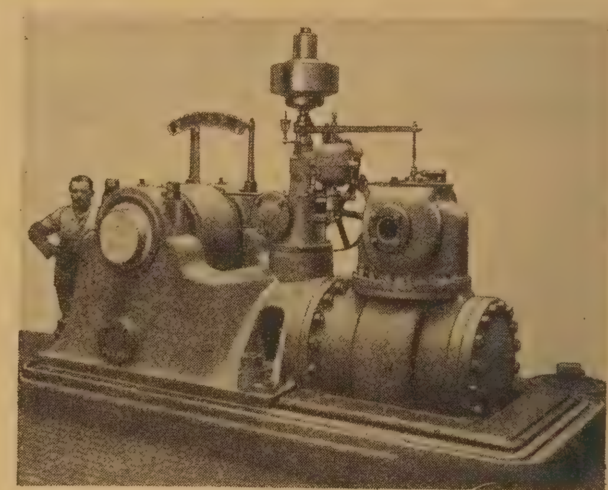


Abb. 12. Regler für Turbine 4, von Voith geliefert.

Der Regler, Abb. 12, hat ein Arbeitsvermögen von 14 000 mkg. Das einfach vorgesteuerte Steuerventil sitzt auf dem Arbeitszylinder. Über der Geradführung erhebt sich der Ständer mit dem eingekapselten Fliehkraftpendel, dessen Schwunggewichte sich reibungslos in Schneidenlagern bewegen und mit der Reglermuffe durch dünne Stahlbänder verbunden sind. Am Ständer ist ferner seitlich das Gehäuse der nachgiebigen Rückführung (Isodromregelung) angebracht, die mit einer Vorrichtung zum Verändern des bleibenden Ungleichförmigkeitsgrades während des Betriebes versehen ist. Es kann damit der Drehzahlunterschied zwischen Vollast und Leerlauf bis auf 0 herabgesetzt, und, falls es die Betriebsverhältnisse wünschenswert erscheinen lassen sollten, sogar negativ gemacht werden. Ferner ist eine Einrichtung vorhanden, die jederzeit gestattet, die vom Regler höchstens herstellbare Leitschaufelöffnung zu begrenzen, womit der Leistungssteigerung der Turbine ein beliebiges Ziel gesetzt wird. Diese Einrichtung besteht in einer einstellbaren, nur in einer Richtung wirkenden Verbindung zwischen dem starren Teil der Rückführung und einem Anschlag, der weiteres Steigen der Pendelmuffe verhindert. Die Anordnung dient zum Schutze des Generators gegen Überlastung bei steigendem Gefäll, hat sich aber auch für den Parallelbetrieb mit anderen Kraftanlagen als nützlich erwiesen, wenn eine bestimmte Kraftmenge geleistet werden soll. Ebenso ist die Anordnung bei den Versuchen bezüglich Leistungshöhe und Wirkungsgrad außerordentlich zweckmäßig gewesen, indem damit die Turbinen während der ganzen Probe für eine unveränderliche Leitschaufelöffnung eingestellt werden konnten.

Um die Synchronisierung und Verteilung der Belastung zwischen den einzelnen Turbinen zu ermöglichen, sind die Regler in gewöhnlicher Weise mit elektrisch von der Schalttafel aus betätigter Drehzahlverstellung versehen. Das Fliehkraftpendel wird in üblicher Weise durch einen reichlich starken einfachen Gummigurt betrieben, während für den Antrieb der Zahnrad-

pumpe zur Erzeugung des Öldrucks der Raumersparnis halber eingekapselte Stirnräder mit Pfeilzähnen verwendet sind, wodurch eine vollständige Betriebsicherheit geschaffen ist.

Ein Druckauslösventil läßt die Ölpumpe nur so lange unter Druck laufen, als der Windkesseldruck nicht das eingestellte Maß, etwa 15 at, erreicht. Im Ölbehälter der Pumpe ist eine Kühlwasserschlange eingebaut. Der Windkessel steht in einer mit Riffelblech abgedeckten Grube neben dem begehbaren Kanal unter den Reglern. Er bedarf keiner Wartung und stört dort unter dem Fußboden weder den Verkehr um die Turbine noch die Übersichtlichkeit des Maschinensaales. Abb. 13 zeigt die Maschinenraumseite der Turbine mit Ölpumpe und Regler.

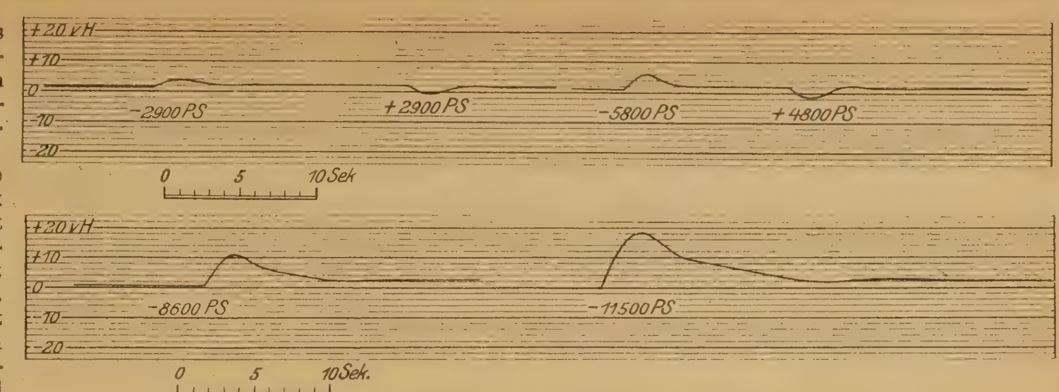


Abb. 14 und 15. Diagramme der Reglerversuche an Turbine 5, von Voith geliefert.

Abb. 14 und 15 geben die Ergebnisse der Reglerversuche wieder. Bei diesen Versuchen erfolgten die Ent- und Belastungen durch den Ölschalter.

Abnahmeversuche.

Meßeinrichtungen.

Es war den beiden Lieferern in den Verträgen vorgeschrieben, wie der Wirkungsgrad geprüft werden sollte.

Das Wasser sollte durch Flügel bei den Schützen, wo hölzerne Führungen eingebaut werden sollten, gemessen werden.

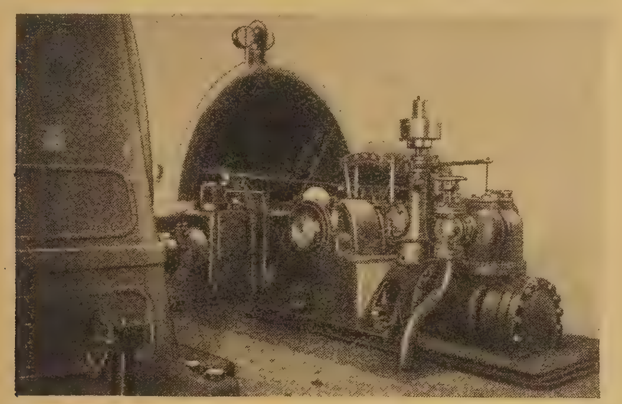


Abb. 13. Regler für Turbine 4, betriebsfertig eingebaut.

Der Oberwasserspiegel war an vier Punkten im Schacht über der Turbine, der Unterwasserspiegel auch an vier Punkten unmittelbar beim Saugrohrauslauf festzustellen. Das Nutzgefälle sollte der Unterschied zwischen den in dieser Weise gemessenen Ober- und Unterwasserspiegeln sein. Die Leistung sollte in gewöhnlicher Weise durch Messen der abgegebenen elektrischen Energie ermittelt werden, indem der bei der Generatorprüfung gefundene Wirkungsgrad zugrunde gelegt wurde.

Das Messen solch großer Wassermengen wie in diesem Fall bietet viele Schwierigkeiten, besonders wenn darnach getrachtet werden muß, es in verhältnismäßig kurzer Zeit durchzuführen. Der Durchflußquerschnitt jeder Schütze vor dem Turbinenschacht beträgt etwa 50 m². Selbst wenn eine Verengerung dieses Querschnittes beim Einbau der für das Meßverfahren notwendigen hölzernen Schirme gestattet wurde, bleibt doch ein Querschnitt von etwa 40 m² in jeder der beiden Öffnungen, wo das Messen stattfinden soll, übrig. Da das Messen in jeder Öffnung mittels Flügels in mindestens 60 bis 70 Punkten vorgenommen werden muß, und die Beobachtung in jedem Punkt etwa 5 Minuten beansprucht, würde eine gesamte Messung, wenn die Verwendung eines Flügels in jeder Öffnung vorausgesetzt würde, mindestens 5 Stunden in Anspruch nehmen.

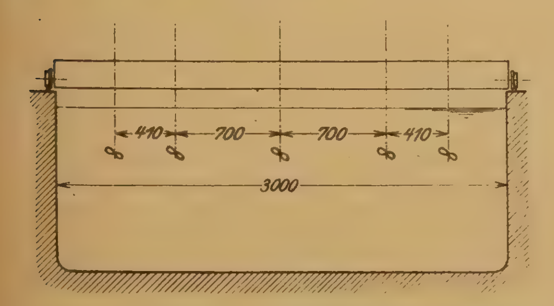


Abb. 16. Aufstellung der Flügel während gleichzeitiger Kontrolle von 5 Stück.

Es war daher von größter Wichtigkeit, ein Verfahren zu finden, mit dem das Messen rascher erfolgen konnte. Man hat früher in ähnlichen Fällen gleichzeitig mit zwei Flügeln in demselben Querschnitt gemessen, wodurch die Meßzeit etwas verringert wurde. Da der Meßquerschnitt im vorliegenden Fall ganz rechteckig war, war die Anordnung der Meßpunkte in symmetrisch zu den Seitenwänden liegenden Linien natürlich. Unter der Voraussetzung der Beschaffung derselben Anzahl Flügel, wie Meßpunkte vorhanden sind, würde die gleichzeitige Messung der in derselben Wagerechten liegenden Punkte möglich sein, und könnten die Flügel in einem heb- und senkbaren Rahmen eingebaut werden. Diese Anordnung würde im vorliegenden Fall die gleichzeitige Verwendung von 14 Flügeln erfordern, und es hat sich als möglich erwiesen, eine solche Anzahl heranzuschaffen. Natürlich könnte gegen das gleichzeitige Messen bei solcher Flügelzahl die Einwendung erhoben werden, daß die Flügel einander ungünstig beeinflussen würden, so daß die durch die Prüfung eines Flügels gefundene Umrechnungsformel, wenn mehrere Flügel gleichzeitig nebeneinander arbeiteten, nicht mehr gelten könnte. Um dies zu untersuchen, wurden im Wasserbaulaboratorium der Technischen Hochschule Stockholm fünf Flügel nebeneinander auf denselben Wagen über dem 3 m breiten Probekanal aufgebaut, s. Abb. 16, und die Umrechnungsformel festgestellt. Beim Vergleich zwischen den in dieser Weise gefundenen Formeln und den Formeln bei der unmittelbar vorher vorgenommenen Prüfung jedes einzelnen Flügels hat sich erwiesen, daß für drei Flügel der Unterschied niedriger war als 0,1 vH und für die zwei weiteren niedriger als 0,2 vH, d. h. der Unterschied liegt innerhalb der Grenze der Meßfehler.

Die Wassermessung wurde deshalb in folgender Weise durchgeführt: 2 m über dem Schützenboden wurde eine Bretterdiele gebaut, die wasseraufwärts bis an die Führungen der Balkenabsperrung, wasserabwärts bis an den Feinrechen reichte. Die Schützen wurden aufgezogen, bis ihre Unterkanten genau

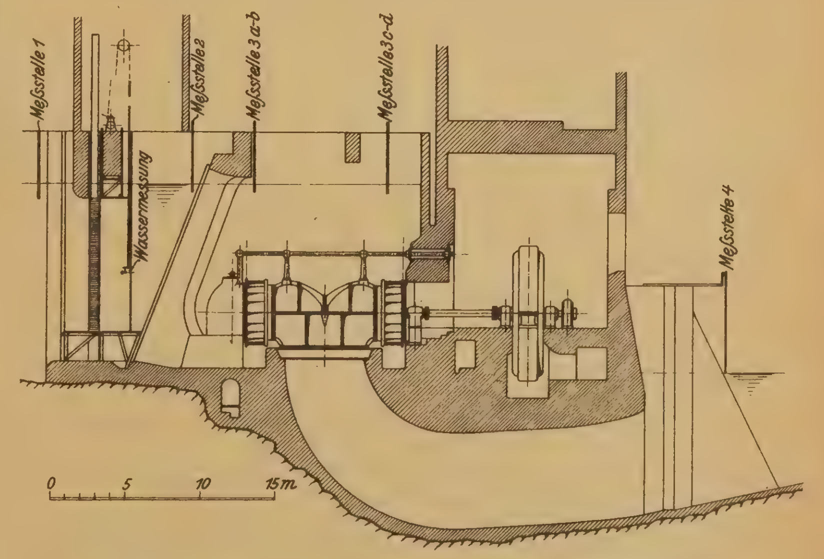


Abb. 17 Querschnitt durch das Kraftwerk mit Angabe der Meßstellen.

in einer Höhe mit dem davor liegenden Träger standen. Unmittelbar hinter den Schützen und entsprechend der Höhenlage ihrer Unterkanten wurde eine wagerechte Bretterdiele gebaut, die in Verbindung mit der Schützenunterkante und dem davorliegenden Betonträger die obere Begrenzung des Meßquerschnittes bildete. In die Schützenführungen wurden Holzverkleidungen eingebaut, so daß die Seitenwände von der Balkenabsperrung an bis zum Meßquerschnitt glatt und parallel wurden, s. Abb. 17. Gleich hinter dem Meßquerschnitt wurden Führungen für das Auf- und Niedersenken des Flügelrahmens an den Wänden befestigt.

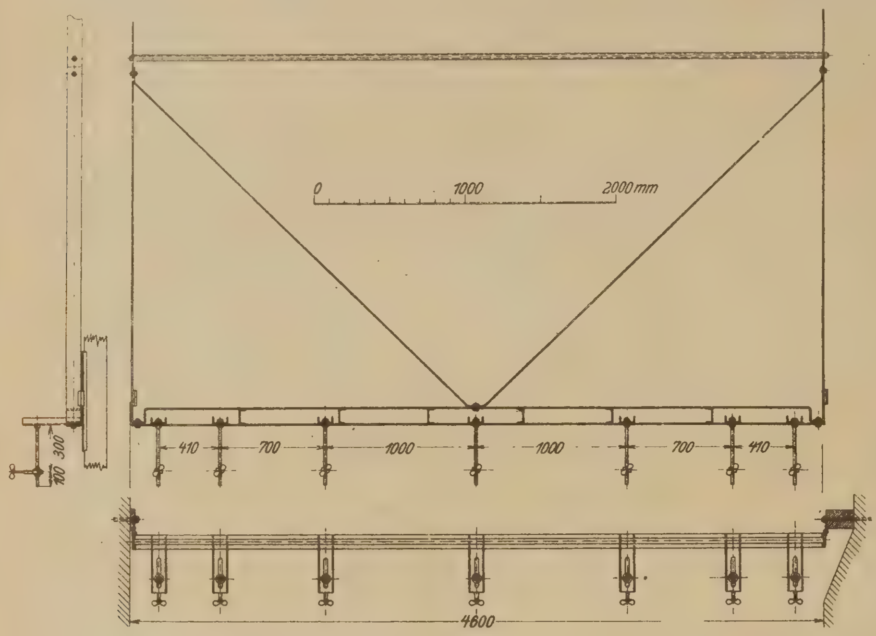


Abb. 18 bis 20.
Unterer Teil des Rahmens für Befestigung der Flügel.

Abb. 18 bis 20 zeigen die Konstruktion des Flügelrahmens und den Abstand zwischen den einzelnen Flügeln. In jeden Rahmen wurden jetzt sieben Flügel eingebaut und so eingestellt, daß ihre Schraubenflügel in derselben wagerechten Linie lagen. Die Rahmen waren aufziehbar und konnten in die für die Messungen passenden Höhen eingestellt werden. Die Höhe des Meßquerschnittes betrug 9 m, und es wurde in zehn verschiedenen Höhen gemessen. Die unterste Meßlinie lag etwa 0,1 m über dem Boden, die höchste Linie etwa 0,1 m unter der obersten Begrenzung. Um den Rahmen mit den Flügeln frei aus dem Wasser heben zu können, wurde aus der oberen Bretterdiele hinter der Schütze ein Schlitz für jeden Flügel ausgeschnitten. Die von den Flügeln ausgehenden elektrischen Leitungen wurden am Rahmen entlang nach den Beobachtungsstellen geführt. Da vor jeder Turbine zwei Meßquerschnitte lagen, wurden, wie oben erwähnt, für das Messen im ganzen 14 Flügel benutzt. Damit nicht zu viel Beobachter nötig wurden, wurden von einem jeden zwei Flügel bedient. Die elektrischen Leitungen waren in der Weise eingeschaltet, daß die Flügel, bei denen zur Zeit keine Ablesung nötig war, durch einen für jeden Wasserlauf angeordneten Stromwender ausgeschaltet werden konnten. In jedem Punkt wurden zwei nacheinander folgende Ablesungen von einer Dauer von je mindestens 60 s vorgenommen.

Unmittelbar nach dem Versuch wurden alle benutzten Flügel an die Technische Hochschule Stockholm eingesandt und im dortigen Wasserbaulaboratorium von der staatlichen Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt berichtigt.

Zur Feststellung des Gefälles wurde die Wasserspiegelhöhe an fünf Meßstellen (siehe Abb. 17 und 21) beobachtet:

Die Meßstelle 1 lag seitlich von sämtlichen Einläufen, das Ablesen konnte an einem festgegossenen einnivellierten Pfahl erfolgen, der sonst zum Ablesen des Oberwasserspiegels der Kraftanlage benutzt wurde. Während des Versuchs wurde hier der Wasserspiegel dauernd alle fünf Minuten abgelesen.

Die Meßstelle 2 lag gleich vor dem Rechen, wo vier Meßpfähle, einer an jeder Seite der beiden Wasserläufe, aufgestellt waren, und hier erfolgten die Ablesungen alle vier Minuten.

Das Ablesen bei Meßstelle 1 und 2 war ohne Bedeutung für die Bestimmung des Wirkungsgrades, wurde aber vorgenommen, um eine Übersicht über den Gefällverlust im Kraftwerk zu erhalten.

Meßstelle 3. In jeder Ecke des Turbinenschachtes war ein Meßpfahl aufgestellt, an denen die Ablesung alle vier Minuten erfolgte, wodurch der für den Wirkungsgrad ausschlaggebende Oberwasserspiegel festgelegt wurde.

Meßstelle 4 lag unmittelbar beim Saugrohrauslauf, und hier wurde der Unterwasserspiegel an vier Punkten durch einen tragbaren Pfahl gemessen. Außerdem wurde der Unterwasserspiegel an vier Punkten unmittelbar beim Auslauf des zunächstliegenden Saugrohres, wo augenblicklich keine Strömung war, abgelesen, und zwar nur zur Überwachung der ersten Ablesung. Diese Reihe von Ablesungen wurde alle acht Minuten vorgenommen.

Es hat sich gezeigt, daß der Wasserspiegel bei Meßstelle 4 etwas niedriger war als der Unterwasserspiegel weiter hinaus im Unterwasserkanal, was daher kommt, daß beim Formen des Saugrohrauslaufes danach gestrebt wurde, die Abflußgeschwindigkeit auszunutzen. Das Formen des Saugrohrauslaufes ist auf folgende Betrachtung gegründet: Die Summe der Auslaufquerschnitte der Saugrohre wird immer kleiner sein als der Querschnitt des Unterwasserkanals außerhalb der zwischen den Saugrohren liegenden Pfeiler. Außerhalb der Pfeiler wird man immer den Boden schräg emporgehen lassen, so daß der Querschnitt etwas vermindert wird. Wird deshalb die Geschwindigkeit des Wassers am Saugrohrauslauf untersucht, so ergibt sich, daß die Geschwindigkeit im Rohrauslauf zuerst verzögert werden muß, indem das Wasser den großen Querschnitt außerhalb der Pfeiler durchströmt, um wieder beschleunigt zu werden, wenn das Wasser in den eigentlichen Unterwasserkanal ausströmt. Um diese Umsetzung zuerst von großer in kleiner und wieder zurück bis zur großen Geschwindigkeit zu vermeiden, sind von den Pfeilern hinaus Führungsschirme gebaut worden, deren Form dem ansteigenden Boden in der Weise angepaßt ist, daß die Wassergeschwindigkeit vom Saugrohrauslauf bis zum eigentlichen Unterwasserkanal fast unverändert beibehalten werden kann. Die Anordnung wird übrigens aus Abb. 17 und 21 ersichtlich. Der gemessene niedrigere Wasserspiegel bei Meßstelle 4 im Verhältnis zu den weiter hinausliegenden Punkten deutet darauf hin, daß die Ausführung des Bodens und der Pfeiler zweckentsprechend gewesen ist.

Da das Nettogefälle den Unterschied der Wasserspiegelhöhen an den Meßstellen 3 und 4 (Oberwasser- und Unterwasserspiegel) ausmacht, wird somit ein niedriger Wasserspiegel an Meßstelle 4

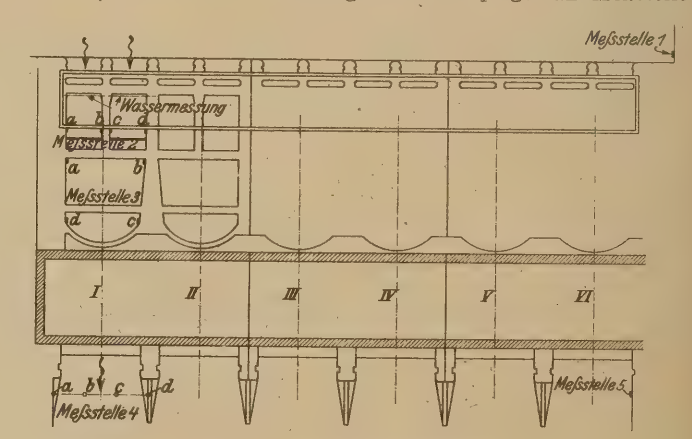


Abb. 21. Übersicht über Meßstellen.

einem großen Nettogefälle entsprechen, mit andern Worten, das Ablesen des Unterwasserspiegels an Meßstelle 4 wird etwas zu ungünstig für die Turbinenlieferer ausgefallen sein.

Es ist aber die Meßstelle in den Verträgen unzweideutig vorgeschrieben, und das Messen wurde in genauer Übereinstimmung mit den Verträgen ausgeführt.

Die Meßstelle 5 liegt zur Seite sämtlicher Ausläufe und wird sonst für das Ablesen des Unterwasserspiegels für die Kraftstation benutzt. Während sämtlicher Versuche über die Wirkungsgrade herrschte keine Strömung durch das Saugrohr 6, weshalb der Wasserspiegel an der Meßstelle 5 berechnet werden mußte, um dem Unterwasserspiegel des eigentlichen Unterwasserkanals einigermaßen zu entsprechen. Wie aus der Übersicht

über die während der Versuche festgelegten Höhenverhältnisse hervorgeht, war der Wasserspiegel an Meßstelle 5 durchgehend höher als an Meßstelle 4.

Die Beobachtungen an Meßstelle 5, die während der Versuche alle fünf Minuten erfolgten, waren hauptsächlich von Interesse wegen der Feststellung, wie sich der Wasserspiegel bei dem gewöhnlichen Meßpfahl der Kraftstation gegenüber dem Wasserspiegel unmittelbar außerhalb der einzelnen Saugrohre stellt. Der Unterschied zwischen den an den Meßstellen 1 und 5 vorgenommenen Ablesungen ist das Gefälle, das für die Kraftstation täglich abgelesen wird und als das Bruttogefälle der Station bezeichnet werden kann. Es wird aus der Übersicht über die während der Proben herrschenden Höhenverhältnisse hervorgehen, daß das in oben geschildeter Weise gefundene Rohgefälle durchgehend etwas kleiner ist als das Nutzgefälle für die Turbinen. Dies kommt daher, daß der durch die Schützen und den Rechen verursachte Fallverlust kleiner ist als der Unterschied der Wasserspiegel an den Meßstellen 4 und 5.

Zur Aufnahme der bei den Turbinen- und Generatorversuchen abgegebenen Energie wurde außerhalb des Kraftwerkes ein reichlich bemessener Wasserwiderstand eingebaut, der für die Generatorspannung von 7500 V eingerichtet wurde und durch Kabel in Verbindung mit dem einen Satz Sammelschienen der Maschinen stand. Während der Versuche über den Wirkungsgrad wurde die abgegebene Energie an Präzisionsinstrumenten abgelesen, und zwar erfolgten die Beobachtungen alle fünf Minuten während des ganzen Versuches. Die Kraftabgabe der Turbinen war außerordentlich gleichmäßig, weil die Schaufelöffnung der Turbine mittels der am Regler angeordneten Hubbegrenzungsvorrichtung ganz unverändert gehalten werden konnte.

Die Dauer der Versuche war von der Wassermessung abhängig, und es hat sich gezeigt, daß die Durchführung jeder Wassermessung im Laufe von fünf Viertelstunden möglich war.

Beim Ausrechnen der Leistungen wurde der bei den Generatorversuchen gefundene Wirkungsgrad zugrunde gelegt, der etwa 1 vH höher als verbürgt war.

Die Drehzahl der Turbinen wurde am Maschinentachometer abgelesen. Das Tachometer wurde vor und nach den Versuchen geeicht. Im Maschinenraum wurden auch die Schaufelöffnungen und der Stand des Vakuummeters abgelesen.

Es geht aus dem Gesagten hervor, daß für die Durchführung der Versuche eine umfangreiche Einrichtung erforderlich war. Es waren dafür 16 Beobachter außer den Hilfsmannschaften notwendig. Im ganzen waren etwa 25 Mann mit den Versuchen beschäftigt.

Abnahmeversuche mit Turbine 1 von Verkstaden Kristinehamn.

Die Versuche fanden am 11. bis 16. Mai 1922 statt und wurden von einem Ausschuß, bestehend aus den Herren Ingenieur Elov Englesson aus Kristinehamn und Ingenieur H. Thoresen aus Kristiania mit Herrn Professor G. Sundby aus Drontheim als Obmann vollzogen.

Die Beobachtungen des Wasserstandes sowie die Messungen der Wassermengen und der Leistungen wurden in genauer Übereinstimmung mit der vorstehenden Beschreibung durchgeführt.

Während der Probe betrug das Gefälle etwa 12 m. Vor der Probe war das Verhältnis zwischen der Zeigeranordnung für die Leitschaufelöffnungen und der wirklichen Öffnung der Schaufeln durch Messen derselben festgelegt. Es wurden auch außer der Wirkungsgradprobe Leistungsversuche bei schwankender Drehzahl ausgeführt.

In Zahlentafel 1 sind die Mittelzahlen aller ausgeführten Beobachtungen über Wasserstände, Drehzahl, Schaufelöffnung und Vakuummeter sowie Roh- und Nutzgefälle, gemessene Wassermengen und Leistungen, ausgerechneten Wirkungsgrad und außerdem die Leistungen und Wassermengen, auf 12,25 m Nutzgefäll umgerechnet, aufgeführt. Die auf 12,25 m Nutzgefäll umgerechneten Ergebnisse sind außerdem graphisch in Abb. 22 dargestellt.

Das Verhältnis zwischen verbürgtem und erreichtem Wirkungsgrad bei 12,25 m Nutzgefäll und 107 Uml./min hat sich danach wie folgt ergeben:

Leistung in PS	4800	7200	9600	10 440	12 000
Verbürgter Wirkungsgrad vH . .	67	78	84	85	80
Gemessener Wirkungsgrad „ . .	69,1	80,1	87,4	89,1	89,1

Der gemessene größte Wirkungsgrad betrug 89,9 vH bei einer Leistung von 11 650 PS. Nach der Kurve liegt der beste Wirkungsgrad bei 11 360 PS und beträgt 90,1 vH.

Es wurde somit ein bedeutend besserer Wirkungsgrad als verbürgt erreicht, und die Lieferantin erhielt deswegen die im Vertrag für diesen Fall bestimmte Prämie. Der erreichte Wirkungsgrad ist sehr hoch, besonders unter Berücksichtigung des Umstandes, daß er bei einer Zwillingsturbine mit liegender Welle erzielt wurde, wo das konstruktive Ausformen des Saugrohres schwieriger als bei den senkrechten Turbinen ist.

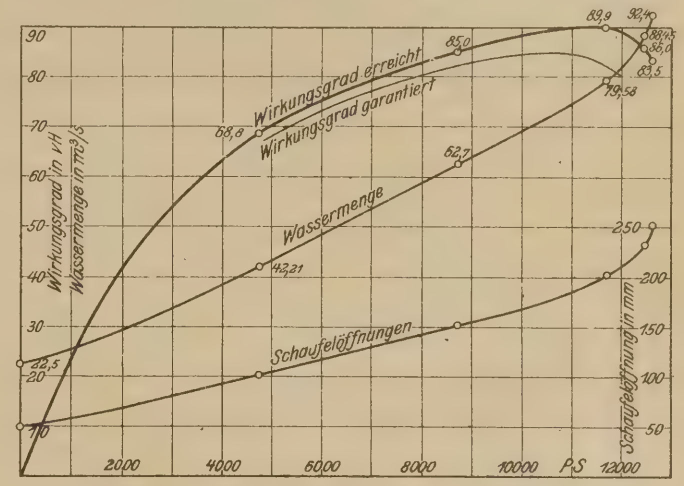


Abb. 22. Wirkungsgrad, Wassermenge und Schaufelöffnung der von Verkstaden gelieferten Turbine 1, bezogen auf 12,25 m Gefäll.

Das Ergebnis ist von großem Interesse und bestätigt das bei der Untra-Anlage erreichte gute Ergebnis (s. die Veröffentlichung von Prof. Hjalmar O. Dahl in Teknisk Tidsskrift, Mekanik, 1919 Heft 12[1]). Es zeigt, daß durch Verwendung großer liegender Zwillingsturbinen Wirkungsgradwerte erreicht werden können, die denen für senkrechte Turbinen gleichkommen.

Es wird vielleicht Interesse bieten, die gefundenen Werte der Wirkungsgrade mit den Ergebnissen bei der Versuchsmodell-Turbine zu vergleichen. Die Abmessungen dieser Turbine verhielten sich zu denen der ausgeführten Turbinen wie 650 : 2950.

In der graphischen Darstellung Abb. 23 sind die Ergebnisse der Modellturbine für die Abmessungen der ausgeführten Turbinen und 12,25 m Nutzgefäll umgerechnet. Es ist aus der Darstellung ersichtlich, daß die ausgeführten Turbinen, wie man wegen des Unterschiedes der Abmessungen zu erwarten berechtigt war, einen bedeutend besseren Wirkungsgrad als die Modellturbine ergeben haben.

Der Vergleich zwischen der Modell- und der Hauptturbine zeigt übrigens, daß es gelungen ist, die letzteren ganz identisch

[1]) s. a. Z. Bd. 67 (1923) S. 448.

Zahlentafel 1. Versuchsergebnisse von Turbine 1. Raanaasfoss, den 15. Mai 1922.

Zeit	Mittel von Wasserstandablesungen					Brutto-Gefälle	Netto-Gefälle	Mittel der Ablesungen im Maschinensaal			Leistung an der Generatorkupplung	Wassermenge	Wirkungsgrad	Auf 12,25 m Gefäll umgerechnet		
	Oberwasserpegel	Oberwasser vor dem Rechen	Oberwasser in der Turbinenkammer	Unterwasser bei Saugrohrauslauf	Unterwasserpegel			Schaufelöffnung	Vakuummeter	Uml./min				Uml./min	Leistung	Wassermenge
	m 1	m 2	m 3	m 4	m 5	m 1 bis 5	m 3 bis 4	mm			PS	m³/s	vH		PS	m³/s
10^{10} bis 11^{25}	118,600	—	—	—	106,670	11,93	—	50	—	105	0	22,22	—	106,4	0	22,5
11^{54} „ 1^{41}	118,596	118,601	118,597	106,665	106,661	11,935	11,932	102,9	2,6	105	4 560	41,678	68,8	106,4	4 740	42,21
1^{42} „ 3^{10}	118,589	118,577	118,575	106,663	106,679	11,910	11,912	153	2,2	105	8 350	61,814	85,0	106,4	8 700	62,70
3^{22} „ 4^{54}	118,603	118,561	118,567	106,631	106,679	11,924	11,936	204	2,165	105,2	11 240	78,58	89,9	106,6	11 680	79,58
7^{01} „ 8^{16}	118,677	118,617	118,624	106,605	106,685	11,992	12,019	234,4	2,10	105,9	12 085	87,668	86,0	107,0	12 430	88,48
8^{30} „ 9^{41}	118,682	118,605	118,625	106,612	106,663	12,019	12,011	253	2,093	107,0	12 235	91,47	83,5	108,0	12 580	92,40

Zahlentafel 2. Versuchsergebnisse an Turbine 5. Raanaasfoss, den 1. und 2. November 1922.

Zeit	Mittel von Wasserstandablesungen					Brutto-Gefälle	Netto-Gefälle	Mittel von Ablesungen im Maschinensaal			Leistung an der Generatorkupplung	Wassermenge	Wirkungsgrad	Auf 12,25 m umgerechnet		
	Oberwasserpegel	Oberwasser vor dem Rechen	Oberwasser in der Turbinenkammer	Unterwasser bei Saugrohrauslauf	Unterwasserpegel			Schaufelöffnung	Vakuummeter	Uml./min				Uml./min	Leistung	Wassermenge
	m 1	m 2	m 3	m 4	m 5	m 1 bis 5	m 3 bis 4	mm			PS	m³	vH		PS	m³/s
11^{05} bis 12^{05}	118,320	118,310	118,322	105,059	105,055	13,265	13,263	40	3,18	109,9	402	18,88	12,10	105,6	357	18,22
12^{50} „ 1^{55}	118,220	118,130	118,146	105,187	105,245	12,975	12,959	208	3,77	109,0	13 275	95,48	80,47	106,0	12 201	92,84
2^{55} „ 4^{00}	118,130	118,078	118,084	105,278	105,343	12,787	12,806	167	3,85	108,0	11 475	79,69	84,33	105,63	10 738	77,94
4^{35} „ 5^{35}	118,060	118,017	118,022	105,308	105,368	12,692	12,714	145	3,71	108,6	10 080	70,72	84,08	106,6	9 532	69,42
6^{20} „ 7^{15}	118,020	117,997	118,000	105,289	105,318	12,702	12,711	117	3,53	107,0	7 560	56,68	78,70	105,04	7 152	55,65
11^{40} „ 12^{50}	118,150	118,140	118,149	105,059	105,098	13,052	13,090	83	3,50	109,5	4 897	39,34	71,32	105,92	4 425	38,05

mit der Modellturbine auszuführen, indem die Wirkungsgradkurven ganz übereinstimmend verlaufen und auch keine Verschiebung im Verhältnis zueinander erlitten haben. Die überaus einfache Schaufelform des Laufrades ist gewiß auch eine dafür mitwirkende Ursache, daß die Eigenschaften der Modellturbine völlig in den ausgeführten Turbinen wiedergefunden werden.

Abnahmeversuche mit Turbine 5 von J. M. Voith, Heidenheim.

Die Versuche fanden am 1. und 2. November 1922 statt und wurden von einem Ausschuß, bestehend aus den Herren Oberingenieur Dr. Schmitthenner aus Heidenheim und Ingenieur H. Thoresen aus Kristiania, mit Herrn Prof. G. Sundby aus Drontheim als Obmann vorgenommen.

Die Beobachtungen des Wasserspiegels, die Wassermessungen und Kraftmessungen wurden in genauer Übereinstimmung mit der vorstehenden Beschreibung ausgeführt. Während des Versuches betrug das Gefälle etwa 13 m. Es wurden außer den Wirkungsgradversuchen auch Leistungsproben bei schwankender Drehzahl ausgeführt.

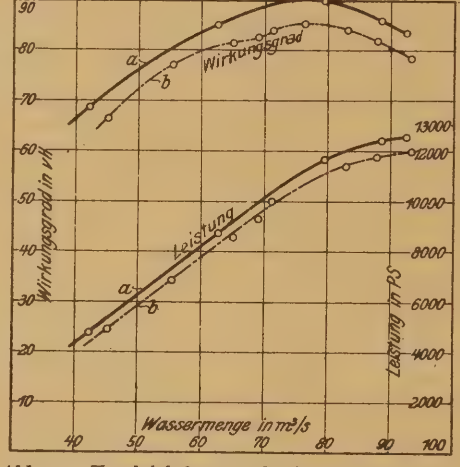


Abb. 23. Vergleichskurven der Versuche mit der ausgeführten Turbine 1 und mit der Versuchsmodellturbine (von Verkstaden geliefert).
a) Versuche an der ausgeführten Turbine am 15. Mai 1922, auf $H_e = 12{,}25$ umgerechnet.
b) Versuche am Modellrad, auf vollen Maßstab und $H_e = 12{,}25$ umgerechnet.

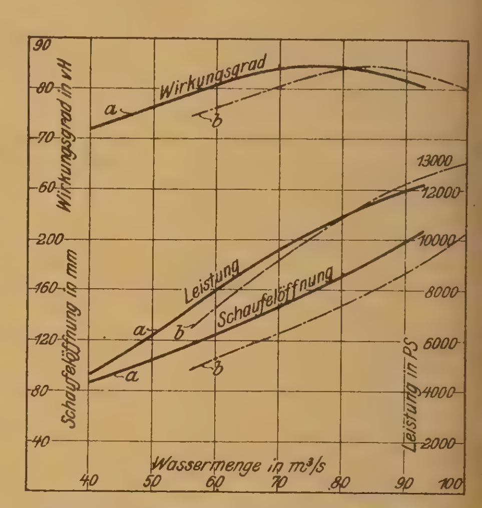


Abb. 25. Vergleichskurven der Versuche mit Modellturbine und der ausgeführten Turbine 5.
a) Versuche am 1. bis 2. November 1922 auf $H_e = 12{,}25$ umgerechnet.
b) Modellrad auf vollen Maßstab und $H_e = 12{,}25$ umgerechnet.

Aus Zahlentafel 2 gehen die mittleren Zahlen sämtlicher ausgeführten Beobachtungen der Wasserspiegelhöhen, Drehzahlen, Schaufelöffnungen, des Vakuummeters sowie Roh- und Nutzgefälle, gemessene Wassermengen und Leistungen, ausgerechneter Wirkungsgrad und Leistungen sowie Wassermengen, auf 12,25 m Gefäll umgerechnet, hervor.

Die Ergebnisse, auf 12,25 m Nutzgefäll umgerechnet, sind außerdem in Abb. 24 dargestellt.

Das Verhältnis des verbürgten zum erreichten Wirkungsgrad bei 12,25 m Nutzgefäll und 107 Uml./min war folgendes:

Leistung in PS	4800	7200	9600	10 800	12 000
Verbürger Wirkungsgrad vH	65	76,5	83,5	85	79
Gemessener Wirkungsgrad „	72,3	78,9	84,2	84,3	81,3

Nach der Kurve liegt der beste Wirkungsgrad bei etwa 11 400 PS und beträgt 85 vH.

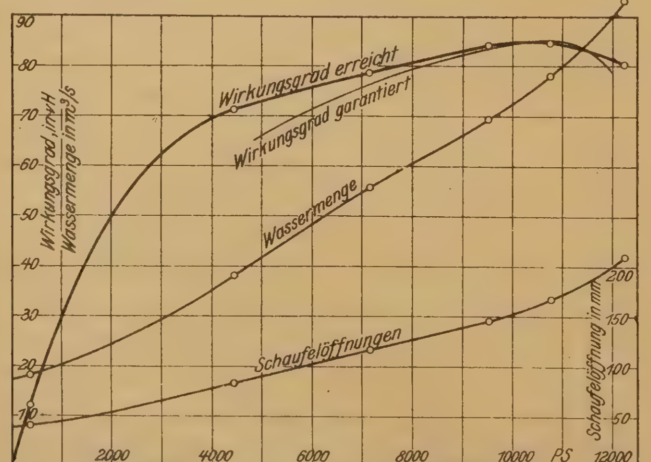


Abb. 24. Wirkungsgrad, Wassermenge und Schaufelöffnung der von Voith gelieferten Turbine 5, bezogen auf 12,25 m Gefälle.

Der Wirkungsgrad war somit, besonders bei niedrigeren Leistungen, besser als verbürgt, selbst wenn so hohe Werte für die größeren Leistungen wie für die Turbinen 1 bis 3 nicht erreicht wurden. Bei Leistungen, die niedriger als 6000 PS liegen, ist der Wirkungsgrad dagegen höher als bei den Turbinen 1 bis 3, wie auch der Wasserbedarf bei Leerlauf niedriger ist.

Es wäre doch im Vergleich mit den bei der Modellturbine erreichten Ergebnissen Grund dazu gewesen, einen höheren Wirkungsgrad zu erwarten (s. Abb. 25). Es zeigte sich indessen, daß die Laufradschaufeln während des Eingießens im Stahlwerk nicht in voller Übereinstimmung mit dem Modellrad angebracht waren, wodurch die Durchflußfähigkeit und der Wirkungsgrad der ausgeführten Turbinen von dem der Modellturbine abgewichen ist. Wenn man das Diagramm, Abb. 25, zum Vergleich zwischen der Modellturbine und der fertigen Turbine ansieht, wird klar, daß die Kurve des Wirkungsgrades für die fertige Turbine seitlich verschoben ist, ohne im Verhältnis zur Wirkungsgradkurve der Modellturbine erhöht zu sein.

Beim Zusammenhalten des obigen Diagrammes mit dem entsprechenden Diagramm für die Turbinen 1 bis 3 wird ersichtlich, daß die Kurven der Wirkungsgrade der beiden Modellturbinen annähernd gleich geformt sind. Der höchste Punkt der Kurve der Turbinen 1 bis 3 liegt etwa ½ vH höher als der entsprechende Punkt der Kurve der Turbinen 4 bis 6, während anderseits die letztere Kurve flacher als die erstere verläuft.

Die Laufräder der beiden Turbinenlieferanten waren auf Grundlage der Erfahrungen und ausgeführten Proben jeder einzelnen Firma ausgeführt, sind aber an Aussehen und Form wesentlich voneinander abweichend. Das Laufrad Voiths hat mehr Schaufeln und mehr ausgestreckte Flächen. Es ist bei diesem Rad auf die Solidität großer Wert gelegt, und dies ist auch der Grund, daß so viele Schaufeln verwendet wurden. Aber eben wegen der vielen Schaufeln und der langen Wasserläufe wird ein weniger genaues Eingießen eine größere Rolle spielen, und es ist natürlich in diesem Umstand der Aufschluß über die Abweichung zwischen den Kurven des Wirkungsgrades des Modellrades und der fertigen Turbine zu suchen. [A 1973]

RUNDSCHAU.

Große Spiralturbinen für das Kraftwerk Omine in Japan.

Die Verwendung des Spiralgehäuses als Umhüllung und Wasserzuführung für Francisturbinen und andre Überdruck-Vollturbinen nimmt ständig zu und hat sich in den letzten Jahren zu bemerkenswerter Vielseitigkeit entwickelt. Die Vorzüge dieser Gehäuseform liegen in folgendem: Der gleichmäßigen Verteilung des Wassers auf den Umfang des Leitrades angepaßt, verjüngen sich die Querschnitte des Gehäuses stetig ohne tote Räume und Strömungsstörungen und lassen daher hohe Wassergeschwindigkeiten zu. Hieraus ergeben sich kleiner Raumbedarf und geringer Aufwand an Werkstoff, der überdies infolge der runden Formen günstig beansprucht ist.

Ursprünglich für mittlere Gefälle ersonnen, um die aus einer Rohrleitung gespeiste Francisturbine in vorteilhafter und gefälliger Form mit wagrechter Welle neben den angetriebenen Maschinen aufstellen zu können, erschloß das Spiralgehäuse der Francisturbine das Gebiet der höheren Gefälle; die Francisturbinen des Walchenseewerks zum Beispiel mit 200 m Gefälle wären ohne die Spiralform des Gehäuses kaum denkbar. Die sekundliche Wassermenge beläuft sich bei solchen Hochdruckturbinen auf nur einige Kubikmeter. Neuerdings jedoch tritt die Spiralform ihrer Vorzüge willen auch unter geradezu entgegengesetzten Verhältnissen: niedrigstem Gefäll und sehr großer Wassermenge auf, wobei sie in der Betonkammer für stehende Welle angewandt wird. Beispiele hierfür finden sich in der Abhandlung „Fortschritte im Turbinenbau nach dem Weltkriege“[1].

Die jüngste, jedoch wegen des Größerwerdens der Einheiten rasch zu hoher Bedeutung gelangende dritte Gruppe bilden die Spiralturbinen mit stehenden Wellen für mittlere Gefälle und große Wassermengen, wobei des höheren Druckes halber wieder zum Eisen als Baustoff für das Gehäuse gegriffen werden muß. Abb. 1 stellt ein solches Gehäuse in der Werkstätte der Firma J. M. Voith in Heidenheim dar, das zu einer von zwei für Japan gebauten Turbinen gehört. Das Krafthaus steht nahe der Staumauer in einer engen Schlucht, so daß die Grundfläche des Maschinenraumes aufs äußerste eingeschränkt werden mußte. Jede der Turbinen hat unter einem Nutzgefälle von 21,3 m und bei 150 Uml./min die beträchtliche Wassermenge von 55 m³/s zu verarbeiten und leistet 12 500 PS.

Die Gehäuse haben eine Einlaufweite von 4,1 m und der größte Durchmesser der Spirale beträgt 10,4 m. Die Bleche von 10 bis 12 mm Dicke wurden in der Werkstätte zusammengenietet, soweit es die Lademaße der japanischen Eisenbahnen gestatteten. Die Abbildung zeigt auch den Versteifungsring aus Stahlguß und dessen in die Fließrichtung gestellte schlanke Verbindungsrippen, zwischen denen das Wasser dem Leitrad zuströmt.

Wie Abb. 2, Schnitt durch den Maschinensatz, erkennen läßt, ist nicht nur der Tragring, sondern auch das Spiralgehäuse bis über die Mitte der Höhe einbetoniert, wodurch eine zuverlässige Verankerung gewonnen und die Zugänglichkeit des Turbinendeckels und der als Außenregelung durchgeführten Drehschaufelgetriebe gewahrt ist. Der Geschwindigkeitsregler ist neben dem Spiralgehäuse aufgestellt, und von dieser Stelle aus können auch alle Leitungen für Schmieröl, Drucköl und Kühlwasser angestellt und in ihrer Wirksamkeit überwacht werden.

Unter der Turbine sind Gänge im Betonmauerwerk ausgespart, in denen die Druckrohrleitungen und der Windkessel der Regulierung untergebracht und von denen aus zwei Mannlöcher im oberen Teil des Saugrohrs zugänglich sind, so daß man an die Austrittskanten des Leitrades gelangen kann. Selbstverständlich ist auch im Spiralgehäuse eine Einsteigöffnung vorhanden. Das Laufrad hat 1 m Eintrittshöhe und einen größten Durchmesser von 3,4 m. Obwohl dieser keineswegs ungewöhnlich ist, mußte das Laufrad doch der Beförderungsschwierigkeiten wegen zweiteilig ausgeführt werden.

[1] S. 749.



Abb. 1. Spiralgehäuse einer 12 500 PS-Francisturbine für 21,3 m Gefälle, 55 m³/s Wassermenge und 150 Uml./min mit stehender Welle, vom Laufkran der Werkstätte aus aufgenommen.

Die Wellen der Turbine und des Stromerzeugers sind aneinander geflanscht; die Turbinenwelle von 400 mm Dmr. hat ein sehr sorgfältig ausgebildetes und geschmiertes Führungslager, die Dynamowelle zwei Führungslager und ein auf dem oberen Lagerstern ruhendes, ebenfalls von J. M. Voith gebautes Spurlager.

Die Gewichte der umlaufenden Massen: Turbinenlaufrad, Magnetrad und Wellen, sowie während des Betriebs der Wasserdruck im Laufrad ergeben rd. 200 000 kg Lagerdruck. Für diese bedeutende Belastung und 150 Uml./min wurde ein Spurlager mit beweglichen und durch Selbsteinstellung eine keilförmige Schmierschicht sichernden Ringabschnitten gewählt.

Abb. 3 zeigt eines dieser Lager. Der einteilige Spurring hat 1,3 m äußeren und 0,65 m inneren Durchmesser. Das Öl fließt einer im Turbinengeschoß aufgestellten und zugleich mit der Druckölpumpe des Reglers angetriebenen Zahnradpumpe zu, die es durch einen Ölkühler und dann durch ein Filter dem Lager wieder zuführt, wo durch

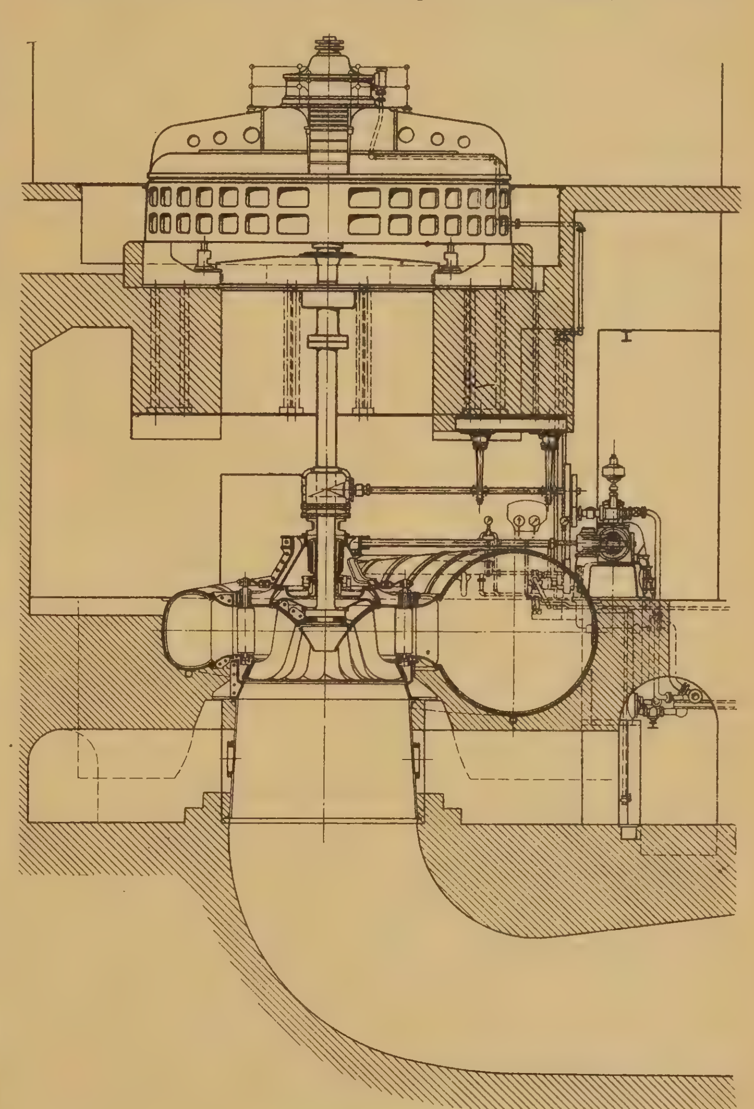


Abb. 2. 12 500 PS-Maschinensatz des Omine-Kraftwerkes mit Schnitt durch die Spiralturbine und Ansicht der Schirmdynamo.

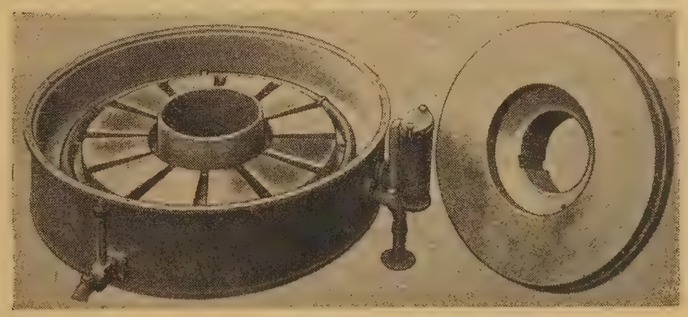


Abb. 3 Spurlager mit beweglichen Ringabschnitten.

einen Düsenring dafür gesorgt ist, daß das gekühlte Öl an die Ansaugestellen zwischen den Gleitschuhen gelangt.

Die beiden Turbinen werden aus einer in Eisenbeton hergestellten Druckleitung von 6,1 m Lichtweite gespeist, die durch ein Gabelrohr Anschluß an die beiden den Spiralturbinen vorgebauten Drosselklappen von 4,1 m l. W. erhält. Die mächtigen, dreiteiligen Schrägschlußklappen aus Stahlguß werden durch Elektromotoren betätigt.

Heidenheim. [R 141] v. Troeltsch.

Wasserkraftanlage von 480 m Gefäll im badischen Schwarzwald.

Im Tale der Wildgutach, einem Nebenflusse der Elz, wird zurzeit mit dem Ausbau der höchsten Gefällstufe Deutschlands begonnen. Das Wasser des Zweribachs wird durch ein Wehr von 4 m Höhe bis 950 m ü. M. gestaut. Von dem hierdurch gebildeten kleinen Becken, das zum Tagesausgleich des Zuflusses dient, führt die 2300 m lange Druckrohrleitung zum Krafthaus an der Wildgutach; die Unterwasserhöhe beträgt 470 m ü. M. Im Krafthause werden zwei Maschinensätze: Peltonturbinen mit unmittelbar gekuppelten Stromerzeugern von je 700 PS Leistung sowie die erforderlichen Transformatoren und Schaltanlagen untergebracht.

Eine Erweiterung des Werkes durch ein Jahresbecken (Staumauer von 22 m Höhe) einen dritten Maschinensatz von 700 PS und eine Pumpenspeicheranlage ist als zweiter Ausbau vorgesehen.

Die das Werk kennzeichnenden Zahlen sind:

	Erster Ausbau	Vollausbau
Einzugsgebiet	3,6 km²	3,6 km²
Mittlerer nutzbarer Zufluß	118 l/s	131 l/s
Ausbauwassermenge	300 „	450 „
Mittleres Nutzgefälle	462 m	462 m
Maschinenausbau	1 400 PS	2 100 PS
Mittlere Leistung (24stündig)	592 „	667 „
Mindestleistung (8stündig)	300 „	2 000 „
Jährliche Stromerzeugung	3,55 Mill. kWh	4,00 Mill. kWh

Entwurf und Bauleitung liegen in den Händen der Firma Ludin A.-G. Im gleichen Gebiet liegt das geplante Elzwerk mit 600 m Gefälle. [M 195]

Die Flügelradturbinen des Wasserkraftwerkes Matte.

Die Turbinenfabrik Th. Bell & Cie., Kriens in der Schweiz, hat im Jahre 1922 ein neues Laufrad für Schnelläufer ausgebildet, das bei Versuchen mit einem Modell von 505 mm Dmr. sehr günstige Ergebnisse lieferte, nämlich

bei spezifischen Drehzahlen $n_s = 680, \quad 1158, \quad 1350$
Wirkungsgrade $\eta = 86{,}6, \quad 80{,}0, \quad 67{,}5$ vH.

Abb. 4 zeigt das Laufrad der ersten großen Ausführung für das Kraftwerk Matte der Stadt Bern. Es ist, wie ersichtlich, ein Flügelrad ohne äußeren Kranz mit nur zwei Schaufeln, die je etwa um den halben Umfang reichen. Der äußere Durchmesser ist nach unten schwach kegelig erweitert (vergl. die Maßskizze Abb. 8). Der größte Durchmesser dieses Rades beträgt $D_s = 1600$ mm.

Da in Matte die Turbine in einen schon vorhandenen Schacht eingebaut werden mußte, der sowohl bezüglich der Turbinenkammer als auch des Saugrohres ungünstiger war als die entsprechenden Teile des Modells, hat die Lieferfirma 5 bis 6 vH weniger Leistung gewährleistet, als die Modellversuche erwarten ließen. Diese Vorsicht erwies sich als unzureichend, da die ersten Bremsungen Fehlbeträge der Leistung bis 20 vH ergaben. Eine Verbesserung des Einlaufes hatte fast keinen Erfolg, und erst nach Veränderung der Saugrohrform konnten die Garantien nicht nur erreicht, sondern überschritten werden.



Abb. 4. Laufrad.

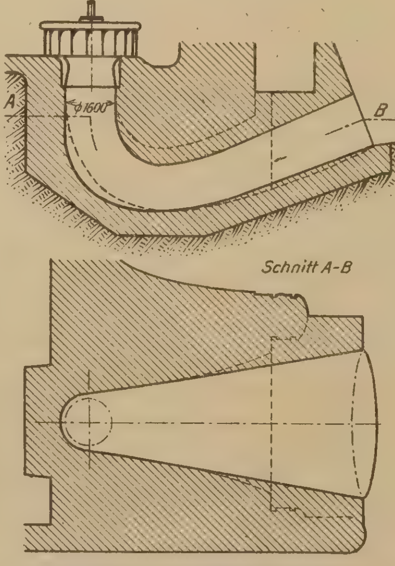


Abb. 5 und 6. Endgültige Saugrohrausführung im Kraftwerk Matte.

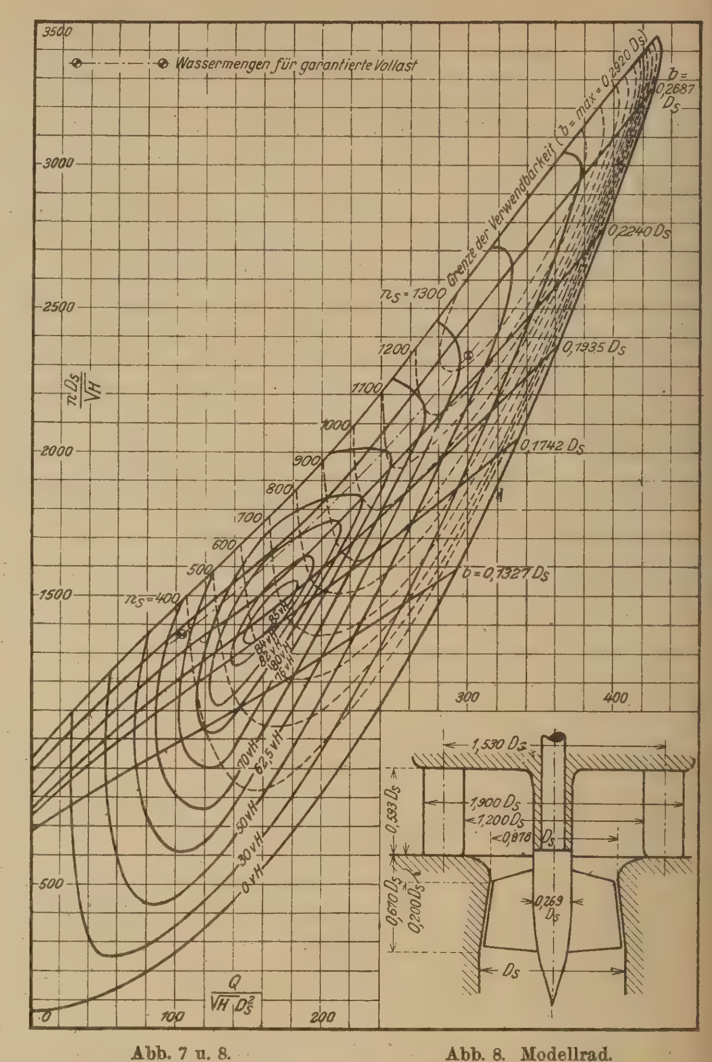


Abb. 7 u. 8. Abb. 8. Modellrad.

Abb. 7. Hauptcharakteristik der Bell-Modellturbine mit $D_s = 505$ mm in ihrer zweiten Ausführung d. h. mit gebogenem Gußsaugrohr. Leitschaufelzahl 12, b = Leitschaufelöffnung.

Die neue Saugrohrform wurde aus vielen Modellversuchen unter Mitwirkung von Prof. Prašil festgelegt, der darüber ausführlich berichtet[1]).

Abb. 5 und 6 zeigen die neue und gestrichelt die erste Saugrohrform. Abb. 7 gibt die Versuchsergebnisse mit dem Modellrad von $D_s = 505$ mm Dmr., Abb. 8, und einem Saugrohr entsprechend der endgültigen Ausführung wieder, die sich fast genau mit den Bremsungen im Kraftwerke Matte decken. [R 229]

Charlottenburg. Kurt Pantell.

Neue Hochdruckwasserkraftanlage in Norwegen.

Im Gebiet der norwegischen Fjorde, rd. 130 km von Trondhjem entfernt, ist von der A.-S. Aura in Sundalm eine aus drei Werken bestehende Hochdruckanlage für fast 300 000 PS Dauerleistung und 383 000 PS Leistung der eingebauten Maschinen geplant, und eines der Werke, am Lilledalen, ist bereits im Angriff genommen[2]). Dieses verfügt über rd. 780 m Gefäll und 93 000 PS mittlere Jahresleistung bei 125 000 PS Maschinenleistung. Das Kraftwasser (11 m³/s) wird durch einen Stollen von rd. 17,6 km Länge zugeführt und gelangt über ein Wasserschloß und (nach dem vorliegendem Entwurf) durch sechs Druckrohrleitungen zum Maschinenhaus. Das Wasserschloß, Abb. 9 bis 13, ist auch als Druckausgleichbecken ausgebildet und zeigt eine ungewöhnliche Gestaltung.

Zum Bau der Anlage gehören ein Hilfskraftwerk von 2400 PS, eine Kompressoranlage, rd. 27 km Schmalspurbahn, 5 Seilbahnen, Baracken

[1]) Schweizerische Bauzeitung Bd. 83 (1924) Heft 1 bis 4.
[2]) Nach einem Bericht von Edward Svanöe in „Engineering News-Record" Bd. 92 (1924) Nr. 3.

für 1000 Mann und ständige Wohnungen für 100 Familien. Die Arbeiten an dem zu errichtenden Staudamm haben bisher noch nicht begonnen, da noch keine endgültige Entscheidung über seine Ausführung getroffen ist. Der Stollenvortrieb ist indessen im Gang, und Ende 1923 waren bereits 3 km gebohrt. Die Maschinenanlage soll in Stufen von je 50 000 PS ausgebaut werden. Der Bauplan umfaßt außer dem Werk Lilledalen noch die Anlagen Finset und Kuhammeren am Aura. Für Finset wird gerechnet mit 640 m Gefälle, 19 m³/s Wassermenge und

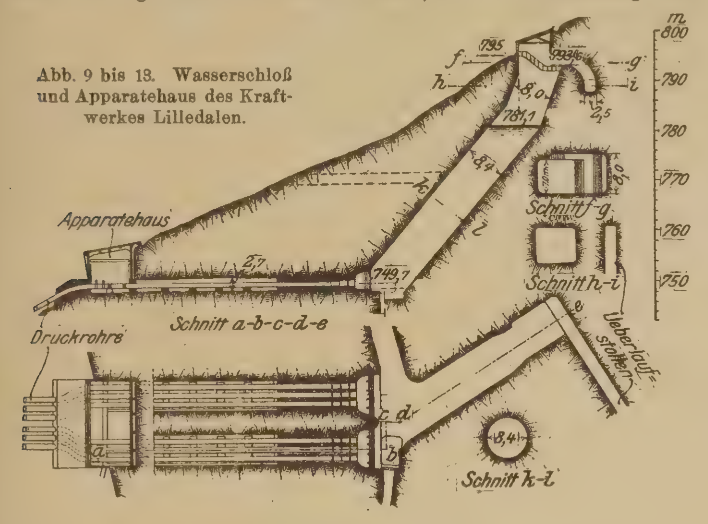


Abb. 9 bis 13. Wasserschloß und Apparatehaus des Kraftwerkes Lilledalen.

170 000 PS Ausbauleistung, für Kuhammeren mit drei verschiedenen Gefällen: 910 m, 790 m und 120 m; die aus zwei Flüssen gewonnene Wassermenge ist hier indessen verhältnismäßig gering, so daß die Ausbauleistung nur 88 000 PS betragen wird.

Sehr lehrreich ist ein Vergleich der Kosten für den Kraftwerkausbau in Norwegen mit denen in Amerika. Zu berücksichtigen ist hierbei die Entwertung der norwegischen Krone gegenüber dem Dollar. Die Lohnkosten stellen sich in Norwegen auf rd. 31 c/h = 1,30 Gm./h; die Norweger wenden mehr Handarbeit und weniger Maschinenarbeit an als die Amerikaner. Die Kosten eines PS-Jahres für die ersten 100 000 PS betragen in Norwegen rd. 7 $, für den vollen Ausbau der Aura-Gesellschaft sogar nur 5 $, wogegen sie für 1 PS-Jahr in Kalifornien auf 15 $ berechnet worden sind. Gegenwärtig sind also die Anlagekosten eines Wasserkraftwerkes in Norwegen nur halb so hoch wie in den Vereinigten Staaten von Amerika. [R 173] Sd.

Versuche an den Turbinenreglern der Holtwood-Anlage.[1])

Die Stromerzeuger des Wasserkraftwerkes Holtwood der Pennsylvania Water and Power Co. sind mit denen von Dampfkraftwerken der Consolidated Gas and Electric Co. in Baltimore, Maryland, durch vier Leitungen für 70 000 V Spannung parallel geschaltet. Dabei hat sich gezeigt, daß plötzliche Be- und Entlastungen des gemeinsamen Netzes zunächst lediglich die Dampfkraftwerke beeinflussen, weil die Regler der Wasserturbinen zu langsam eingreifen. Wegen Gefahr des Durchgehens darf die Belastung der 20 000 kW-Dampfturbinensätze nicht unter 5000 kW sinken, infolgedessen kann die Wasserkraft zeitweilig, insbesondere bei Hochwasser, nicht voll ausgenutzt werden, während gleichzeitig die Dampfturbinen verhältnismäßig hoch belastet sind.

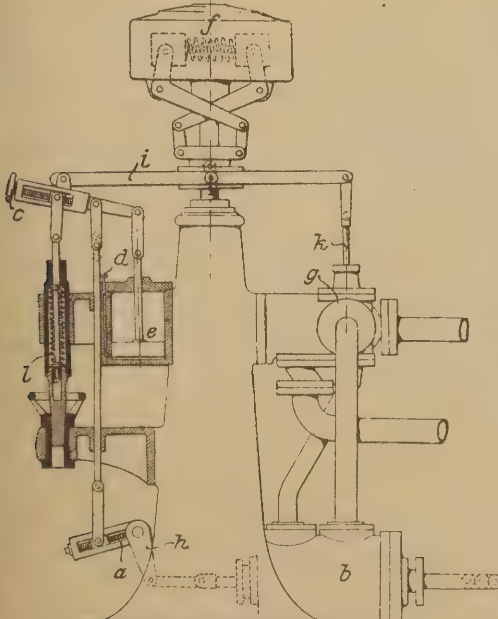
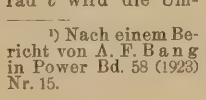


Abb. 14. Regler der 10 000-kV-Einheiten.

Die Regler der Holtwood-Anlage wurden deshalb einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Abb. 14 zeigt schematisch einen der Regler, mit denen die fünf ersten 10 000 kW-Wasserturbinen ausgestattet sind. Durch Verstellung der Hebellänge a wird der Hub des Servomotors b der zugehörigen Turbine angepaßt, durch Handrad c wird die Umlaufzahl der Turbine (normal $n = 94$) eingestellt, während durch das Drosselventil d der Ölbremse e die Schwingungen des Reglers beliebig gedämpft werden können. Bei Belastungsänderungen verstellt das Fliehkraftpendel f das Regulierventil g und bewirkt dadurch eine Bewegung des Servomotorkolbens und der Leitschaufeln. Gleichzeitig bringt aber diese Bewegung mittels des Rückführungsgestänges h bis i den Steuerstift k wieder in die ursprüngliche Lage, wodurch das Regulierventil geschlossen und die Bewegung unterbrochen wird. Der sogenannte zweite Ausgleich, bestehend aus Ölbremse e und Feder l, bewirkt, daß der Regler die Turbine schließlich auf eine Umlaufzahl einstellt, die nur wenig von der vor der Belastungsänderung herrschenden verschieden ist.


[1]) Nach einem Bericht von A. F. Bang in Power Bd. 58 (1923) Nr. 15.

Die Untersuchung wurde für verschieden große Belastungsänderungen und bei verschiedener Dämpfung (durch Verstellen des Drosselventils d) durchgeführt. Umlaufzahl, Belastungszustand (Stromstärke) und Bewegung der Leitschaufeln zeichnete dabei ein Oscillograph auf; dies ist ein Gerät, das die Verstellung seiner Bewegungselemente photographisch auf einen bewegten Filmstreifen überträgt. Zahlentafel 1 zeigt die den so erhaltenen Diagrammen entnommenen Ergebnisse.

Zahlentafel 1. Versuchsergebnisse am Regler von Turbine 4 Auswertung der Oszillogramme.

Diagramm-Nr.	1 Belastungs-änderung	2 Größte Änderung der Umlaufzahl	3 Zeit zwisch. Belastungsänderung u. größter Umlaufändg.	4 Zeit zwisch. Belastungsändg. und Rückkehr zu 99 bis 101 vH der normalen Umlaufzahl	5 Zeit zwischen Belastungsänderung und Beginn der Leitschaufelverstellung	6 Verstellzeit der Leitsch. entsprechend d. Belastungsänd.	7 Verstellzeit d. Leitsch. für die größte Leitschaufelbewegung	8 Ideelle Laufzeit des Servomotorkolbens	9 Anfängliche Leitschaufelöffnung	10 Endgültige Leitschaufelöffnung	11 Größte Änderung der Leitschaufelöffnung	12 Stellung des Drosselventils d
	vH	vH	s	s	s	s	s	s	vH der grössten Öffnung			
149	von 26 auf 0	+ 3,7	1,4	4,5	0,25	1,4	2,4	5,9	37	17	27	Eine Umdrehung offen
150	„ 0 „ 25	— 3.7	1,5	3,8	0,30	1,0	2,5	7,0	24	38	21	
151	„ 93 „ 47	+ 11,7	2,0	3,9	0,20	1,8	2,9	3,1	100	40	83	
152	„ 49 „ 93	— 8,0	2,2	7,5	0,40	2,6	4,7	4,8	47	90	53	
153	„ 99 „ 0	+ 21,2	—	9,0	—	2,7	8,0	3,0	100	10	100	
154	„ 0 „ 86	— 18,6	3,0	9,5	0,30	4,2	7,5	3,5	17	80	83	
155	„ 0 „ 58	— 10.5	2,3	5,0	0,30	1,7	3,7	3,8	19	60	54	
156	„ 100 „ 0	+ 24,5	2,6	10,3	0,30	2,8	9,3	2,8	100	14	100	
157	„ 0 „ 82	— 14,5	2,7	8,7	0,25	3,5	6,1	3,2	20	80	76	
158	„ 100 „ 58	+ 13,3	2,3	4,9	0,55	1,6	3,3	2,8	100	52	84	
159	„ 57 „ 86	— 3,7	2,4	5,2	0,30	1,3	3,4	5,3	55	75	43	
160	„ 50 „ 0	+ 8,2	1,8	5,2	0,25	1,5	3,3	2,9	50	17	50	
161	„ 0 „ 50	— 7,75	2,2	4,9	0,25	1,5	3,3	4,2	19	50	47	
162	„ 25 „ 0	+ 3,2	1,3	3,4	0,30	1,2	2,5	6,5	33	16	25	
163	„ 0 „ 25	— 3,9	1,7	4,1	0,30	1,2	2,6	5,6	17	33	26	
164	„ 0 „ 14	— 1,7	1,9	4,6	0,60	1,3	3,2	10,0	17	27	14	
165	„ 15 „ 0	+ 1,06	1,7	3,3	0,60	1,1	3.5	10,5	28	17	18	
166	„ 25 „ 0	+ 3,7	1,5	2,8	0,30	1,3	3,1	5,4	33	18	33	5 Umdr. offen
167	„ 0 „ 26	— 3,7	1,7	3,3	0,25	1,1	2,8	5,6	17	35	30	

Da die Leitschaufeln ebenso wie die Umlaufzahlen gedämpfte Schwingungen ausführen, bedeutet Spalte 6 die Zeit bis zum erstmaligen Durchlaufen der Endstellung. Spalte 8 gibt die berechnete Laufzeit des Servomotorkolbens an, die er für einen vollen Hub gebrauchen würde, wenn er die Anfangsgeschwindigkeit der ersten Schwingung beibehielte. Die Werte der Spalte 5 sind etwas sprunghaft, was darauf zurückzuführen ist, daß der Regler vor der Belastungsänderung nicht stets ganz ruhig war, sondern mitunter leichte Schwingungen ausführte, die sich nicht völlig beseitigen ließen.

Die Regler von zwei 12 700 kW-Turbinen (Nr. 6 und 7) haben doppelt vorgesteuerte Regulierventile gegenüber einfacher Vorsteuerung des soeben beschriebenen Reglers. Die letzte Turbine (Nr. 8), ebenfalls von 12 700 kW, schließlich hat zwei Servomotorzylinder. Als Druckflüssigkeit für die Regler dient Wasser, das durch Bariumhydrat neutralisiert und mit etwas Öl vermischt ist. Der normale Druck beträgt 19,3 at.

Die langsamere Wirkung der Wasserturbinenregler gegenüber denen der Dampfturbinen ist hauptsächlich auf die bedeutend geringere Energie der Schwungmassen zurückzuführen. Obwohl das Schwungmoment der Wasserturbinen absichtlich sehr groß gemacht ist ($GD^2 = 390\,000$ kgm² bei Turbine Nr. 6 und 7 bis 770 000 kgm² bei Turbine Nr. 4 und 5 gegen nur 10 800 kgm² bei der schwersten Dampfturbine) wird die Schwungenergie der 20 000 kW-Dampfturbinen infolge ihrer ungefähr 16mal so hohen Umlaufzahl etwa 3,5mal so groß als diejenige der größten 10 000 kW-Wasserturbine. Selbst die Summe der Schwungenergien aller acht Wasserturbinen mit zusammen 88 000 kW ist geringer als die zweier Dampfturbinen von zusammen 40 000 kW. Ferner wiesen die Dampfturbinenregler bedeutend kleinere ideelle Laufzeiten (vgl. Spalte 8 in Zahlentafel 1) auf, und wahrscheinlich ist auch ihre Reibung geringer, da ihre Fliehkraftpendel-Gewichte in Schneiden, die der Wasserturbinen dagegen in Kugellagern gelagert sind.

Die elektrischen Leitungen von Holtwood bis zum Hauptnetz sind bedeutend länger als die der Dampfkraftwerke, jedoch konnte ein verzögernder Einfluß der Leitungslänge auf die Reguliervorgänge nicht nachgewiesen werden. [R 8] K. P.

Die schweizerischen Untersuchungen über die Rißbildung in Druckstollen.

Bei Wasserkraftanlagen im Gebirge mit Speicher hat sich die Dichtigkeit des zum Wasserschloß führenden Stollens durch das Gebirge unter dem hohen Wasserdruck als eine sehr ernst zu nehmende Frage herausgestellt. In dem Druckstollen des Ritomwerkes, einem Lehnenstollen von 868 m Länge und eiförmigem Durchflußprofil von 2,8 m², der unregelmäßig gelagerten, stark zerklüfteten Glimmerschiefer durchfährt, zeigten sich bekanntlich nach der Füllung Längsrisse in den Arbeitsfugen zwischen Widerlagern und Sohle sowie beiderseits des Scheitels, die am 1. Juli 1920 einen erheblichen Wasserausbruch zur Folge hatten[1]). Bei der Wichtigkeit der Frage für die Anlage weiterer Druckstollen war s. Zt. in der Schweiz zur Ermittlung der Ursachen der Beschädigungen ein Sachverständigen-Ausschuß ernannt worden, über dessen Arbeiten jetzt berichtet wird[2]). Der Ausschuß hat die verschiedensten Möglichkeiten für Entstehung der Risse geprüft, u. a. die Beschaffenheit der Baustoffe und den Gipsgehalt der Wasserläufe, und ist zu dem Ergebnis gelangt, daß die Rißbildung nur auf Ausweichen der Stollenwandung zurückgeführt werden könne und daß für dieses Ausweichen folgende Ursachen zu vermuten seien: Hohlräume zwischen der Stollenmauerung und dem Gebirge, ferner Gesteinlockerung durch Sprengungen und Verwitterung sowie Zusammendrückbarkeit des Gesteins, schließlich vielleicht Nachgiebigkeit des Gesteins.

Um zu einem Urteil über die Größe der einzelnen Einflüsse zu gelangen, hat man planmäßig Versuche mit Abpressen von Teilstrecken des Stollens für das Kraftwerk Amsteg[3]), dessen Nachprüfung auf Grund der am Ritomstollen gemachten Erfahrungen notwendig geworden war, vorgenommen. Die Versuche, die zur Feststellung der Dichtigkeit des Gebirges und der Formänderung größerer Steinmassen unter Wasserdruck dienen sollten, zerfielen in zwei Gruppen:

1. Versuche zur Prüfung der Dichtigkeit in standfestem, gesundem und voraussichtlich dichtem Fels;
2. Versuche zur Feststellung der Formänderung in gebrechem, vermutlich wasserdurchlässigem und deshalb gegen Innendruck, Außendruck oder gegen beide mit Beton zu verkleidendem Gestein.

Für die Dichtigkeitsprüfungen wurden Stollenstrecken von mehr als 100 m Länge, für die Messungen der Formänderung wegen der hohen Kosten der Versuchsmauerungen nur Strecken von etwa 20 m versuchsweise unter Druck gesetzt. Im Stollen, der eine Länge von 7536 m und 6,5 m lichten Querschnitt hat, wurden vier Strecken eingerichtet und diese durch ringförmige Betonwiderlager mit zweiteiligem, kegelförmigem flußeisernem Tor mit Mannloch abgeschlossen.

Zur Messung der Stollenerweiterung wurde ein Dehnungsmesser benutzt, bestehend aus einer lotrechten Säule, die durch Federn an beiden Enden gegen die Decke und Sohle des Stollens gedrückt wird. Sieben Meßarme, die einerseits an der Stollenwandung befestigt, anderseits in eine an der Säule etwa in der Mitte befestigte drehbare Scheibe mit polierter Metallplatte hineingeführt sind und mittels Schreibstift auf dieser schreiben, geben durch radiale Striche die Verschiebungen der Befestigungspunkte an der Stollenwand in radialer Richtung an. Die Scheibe wird mittels eines durch das Tor hindurchgeführten Drahtes von außen gedreht, um die Formänderung bei bestimmten Druckzuständen im Stollen zu erfassen. Der Dehnungsmesser zeichnet so in natürlicher Größe die Profilerweiterung des Stollens auf, in vier um 45° gegeneinander versetzten Durchmessern gemessen. Der innere Druck, normal $^{5}/_{4}$ des Betriebdruckes von 35 m W.-S., im Höchstfall 51 m, wurde außerhalb der Tore durch Manometer aufgezeichnet.

Es waren Dauerversuche über mehrere Tage nötig, da sich die Hohlräume in Beton und Gebirge erst auffüllen mußten. Auf die Dehnungsversuche erwies sich auch die Temperatur von Einfluß, indem das in den Stollen eingelassene Wasser niedrigerer Temperatur einmal die Arme des Dehnungsmessers, später auch das Stollenwandgestein abkühlte mit der Wirkung, daß dieses sich zusammenzog. Zum Vergleich wurde auch ein mechanischer Zusammendrückversuch mit eisernen Platten von 1 m² Größe durch zwei hydraulische Winden von je 100 t Tragkraft vorgenommen. Die vier Versuchstrecken waren:

1. eine Strecke von 555 m Länge im gesunden kompakten Augengneiß zur Prüfung der Dichtigkeit; Ausbruch unverändert gelassen;
2. eine Strecke von 350 m in Biotitgneiß, kompakt, jedoch deutlich geschichtet, im untern Teil schiefrig; keine Auskleidung des Stollens;
3. eine Versuchstrecke von 87 m im vermutlich nicht dichten Serizitschiefer am untern Ende des Stollens, abschnittweise mit 5 verschiedenen Verkleidungen versehen;
4. eine Versuchstrecke von 104 m Länge in der Nähe des Wasserschlosses in gutem Serizitschiefer, in drei verschiedenen Dicken ringförmig betoniert.

Ergebnisse der Versuche. Nachgiebigkeit des unverkleideten Gesteins war nur im Biotitgneiß einwandfrei meßbar, die übrigen Gesteine konnten wegen ihrer Wasserdurchlässigkeit nicht unverkleidet unter Wasserdruck gesetzt werden. Durchmesserdehnung, bei 40 m Wasserdruck rd. $^{5}/_{100}$ mm, nahm fast genau dem Wasserdruck proportional zu. Die Dehnung ging fast ganz wieder zurück.

Auf Versuchstrecke 3 wurde der Fels vor dem Versuch mit möglichst dünner aber wasserdichter Betonschicht verkleidet und mit Mörtel hinterpreßt. Die Dehnung, die ziemlich schnell der Änderung des inneren Wasserdruckes folgte, verlief ziemlich proportional dem Druck. Gesamtdehnung (immer einschl. Temperatureinfluß) 16mal so groß wie bei Versuchstrecke 2, also $^{80}/_{100}$ mm, wovon nach Ansicht der Sachverständigen 28 vH plastische (bleibende) Dehnung. Im bessern Schiefer der Strecke 4 ergab sich die Dehnung 3- bis 6fach der der Strecke 2.

Folgerungen der Sachverständigen.

1. Meßbare Nachgiebigkeit der Gesteinwandungen im Stollen unter innerem Wasserdruck tatsächlich vorhanden sowohl in hartem als auch in gebrechem Gestein.
2. In gebrechem Gestein ist die Nachgiebigkeit größer als in hartem Gestein. Größe wie oben angegeben.
3. Nachgiebigkeit in gleicher Richtung wie der Wasserdruck ohne merkliche zeitliche Verzögerung.
4. Nachgiebigkeit z. T. elastisch, z. T. plastisch.
5. Nachgiebigkeit bei hartem Gestein zum größten Teil elastisch, in gebrechem Gestein zum erheblichen Teil plastisch, und zwar beim ersten Abpressen rd. 30 vH der Gesamtdehnung. Die Versuche zeigten außerdem, daß die kalte Stollenfüllung im Winter das Gebirge so abkühlt, daß eine fühlbare Profilerweiterung eintritt. Der Betonring muß daher größeren Wasserdruck aufnehmen als bei höherer Wassertemperatur. Über die Wasserdurchlässigkeit lieferten die Versuche keine zuverlässigen Angaben, da die Verhältnisse zu wechselnd und zu verschieden waren.

Die Versuchstrecken, die mit Beton ausgekleidet wurden, wurden mit Portlandzementmörtel unter 6 at Druck hinterpreßt. Außerdem hat man noch sogenannte Hochdruckeinpressungen mit Zementmilch unter 12 bis 14 at in etwa 1,50 m tief in das Gestein eingetriebene Löcher unter Fassung möglichst vieler Gesteinplatten angewendet. Die einpreßbaren Zementmengen schwankten mit der Gesteinart. In der Versuchstrecke 4 (guter Serezitschiefer) wurden zunächst mit Niederdruck rd. 220 kg Portlandzement und 160 kg Feinsand auf 1 m Stollen eingepreßt, nachher unter Hochdruck nochmals etwa 590 kg Zement und 35 kg Feinsand, in der Versuchstrecke 3 mit Niederdruck 170 kg Zement und 95 kg Sand, mit Hochdruck 520 kg Zement und 13 kg Sand für 1 m Stollen. Bei den Zementeinpressungen zeigte sich, daß Vorsicht am Platz ist, damit der Betonmantel nicht durch den hohen Außendruck eingedrückt wird.

Auf Grund der Versuchsergebnisse getroffene Maßnahmen. Da auf der Strecke km 0 bis km 5 der Fels als genügend dicht angesehen werden konnte, wurde hier eine Verkleidung nur zur Erzielung eines glatten Durchflußprofiles angewandt. In dem übrigen Teil des Stollens, wo Rißbildungen in der Verkleidung erhebliche Wasserverluste befürchten ließen, wurde wegen der gleichmäßigen Zugbeanspruchung ein kreisrundes Profil gewählt, das von den Sachverständigen grundsätzlich bei einigermaßen nachgiebigem Gestein als zweckmäßigstes Profil erklärt wurde. Der Versuch in den Strecken, in denen sich die größte Durchmesserdehnung ergeben hatte, an der Hand des von Büchi gegebenen Berechnungsverfahrens für Betonspannungen in Druckschächten[4]) die Dicke einer nicht bewehrten Betonverkleidung durch Rechnung zu bestimmen, schlug fehl. Die Abdrückung dreier kurzer Strecken mit verschiedener Betondicke ohne jede Bewehrung ergab Risse. Daraus wurde die Folgerung gezogen, daß bei Nachgiebigkeit des Gebirges ohne Bewehrung der Auskleidung nicht auszukommen ist. Nach dem Vorschlag der Sachverständigen sollte ein aus praktischen Gründen auf der Innenseite der Betonauskleidung in 7 cm Dicke mit der Zementkanone hergestellter Mörtelring je nach Widerstandsfähigkeit des Gebirges mit Eisen von 21 bis 41 cm² Querschnitt für 1 m Stollenwandung bewehrt werden; von der Bauleitung wurde dagegen der Eisenquerschnitt durchweg mit 28 cm² angenommen und auf 453 m die Bewehrung überhaupt fortgelassen.

Vor der Inbetriebnahme des Druckstollens wurde die Probefüllung des Stollens bis zu 8 Tagen Dauer in drei Teilstrecken durchgeführt. Die nachherige Besichtigung zeigte in den nicht mit bewehrten Mörtelringen ausgekleideten Strecken fast überall wasserführende Poren zwischen Sohlen- und Widerlagerverputz, ferner im Verputz ein Netz sehr feiner Haarrisse auf längeren Strecken, schließlich in den Strecken mit ovalem Tunnelprofil an mehreren Stellen in den Arbeitsfugen zwischen Widerlager- und Sohlenbeton, in denen keine Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Zugfestigkeit getroffen worden waren, feine Längsrisse, die jedoch Wasserdurchlässigkeit kaum bemerken ließen, weshalb der Stollen praktisch als wasserdicht angesehen werden kann.

Ähnliche Versuche wurden auch zu Beginn des Druckstollenbaues des Kraftwerkes Klosters-Küblis zur Feststellung der Durchlässigkeit des aus geschichtetem Mergelkalk von dichtem Gefüge und zur Ermittlung der zweckmäßigsten Dichtungsverfahren hauptsächlich mit der Zementkanone angestellt, auch wurden Stollenstrecken im Ausbruchzustande abgedrückt. Daraufhin wurde der einen Hälfte des Stollens eine einfache mit der Zementkanone hergestellte Verkleidung, der andern Hälfte eine Betonverkleidung gegeben, und auf der Innenseite ein mit der Zementkanone hergestellter mit Eisen bewehrter Mörtelring hergestellt.

Die Sachverständigen haben am Schluß ihres Berichtes zum Ausdruck gebracht, daß es schwer ist und bleiben wird, die Frage der Druckstollenverkleidung derart zu klären, daß deren Lösung ausschließlich auf rechnerischem Wege möglich ist. Dem wird zugestimmt werden müssen. Trotzdem wird an der Lösung weiter gearbeitet werden müssen, wie es ja auch erfreulicherweise bei uns in Deutschland durch mit der Ausführung von Wasserkraftanlagen betraute Unternehmungen geschehen ist und mit Aussicht auf Erfolg weiter geschehen wird.

[M 254] B.

[1]) Schweiz. Bauzeitung Bd. 81 vom 2. Juni 1923; s. a. Z. Bd. 65 (1921) S. 278.
[2]) Ing. A. Schrafl, Generaldirektor der Schweiz. Bundesbahnen, Schweiz. Bauz. Bd. 83 (1924) Nr. 1 und 3.
[3]) Vergl. Schweiz. Bauz. Bd. 68 (22. Juli 1916).
[4]) Schweiz. Bauz. Bd. 77 (1921) S. 61 u. f.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 16 SONNABEND, 19. APRIL 1924 BD. 68

INHALT

OTTO TAAKS
ZUM GEDÄCHTNIS.

Wir mußten Abschied nehmen von Otto Taaks, den wir verehrten als aufrichtigen deutschen Mann von tiefer Herzensgüte. Noch einmal wollen wir uns dankbar erinnern, was das reiche Menschenleben, das am 16. September 1849 begann und am 28. Februar 1924 vollendet wurde, uns gab.



Otto Taaks war von friesischem Stamm. In der kleinen Fischerstadt Norden als ältester Sohn eines Obergerichtsanwalts geboren, besuchte er in Aurich die Schule und arbeitete nach 1869 abgelegter Reifeprüfung in Leer praktisch. Das Studium als Bauingenieur, der er werden wollte, begann er in Berlin. Mit den Gardeschützen zog er 1870 als Kriegsfreiwilliger nach Frankreich, um dann 1871 sein Studium in Hannover fortzusetzen. Nachdem er 1875 die Bauführerprüfung abgelegt hatte, war er von 1875 bis 1880 in verschiedenen Stellungen in Frankfurt a. M., Wilhelmshaven und schließlich als Assistent an der Technischen Hochschule Berlin tätig. 1881 begann er nach abgelegter Regierungsbaumeisterprüfung seine umfassende Tätigkeit als Zivilingenieur in Hannover, die er ununterbrochen bis 1923 fortgesetzt hat.

In diesen 42 Jahren ernster Berufsarbeit hat er sich auf den verschiedensten Gebieten des Ingenieurwesens erfolgreich betätigt. Für zahlreiche Feldmarken hat er die Pläne für Ent- und Bewässerungsanlagen durchgeführt, und besonders umfassend hat er sich auf dem Gebiete der Wasserversorgung und Kanalisation betätigt. Für etwa 30 Städte hat er die Anlagen für Wasserversorgung neu geschaffen und vorhandene Anlagen umgebaut und wesentlich erweitert. Städte wie Einbeck, Norden, Osterode, Göttingen, Goslar Harburg, Geestemünde und andre verdanken ihm technisch und wirtschaftlich ausgezeichnet arbeitende Anlagen. Hierzu kamen die gleichen Anlagen für zahlreiche Industriewerke. Taaks hat sich weiter mit sehr bemerkenswerten Entwürfen für Talsperren in Hannover und Schlesien beschäftigt. Er hat Wassertriebwerke und Stauanlagen an der Leine, am Bober, an der Oker und Innerste und andern Flüssen durchgeführt.

Sehr bemerkenswert sind ferner seine Vorarbeiten und Entwürfe für Schiffahrtswege: von Staßfurt zur Saale, Entwürfe für den Hunte-Emskanal für die oldenburgische Regierung und für einen Rhein-Nordseekanal von Wesel zur Ems. Auch große Flußregulierungen fehlen ebensowenig in seinem Arbeitsgebiet wie zahlreiche Eisenbahn- und Brückenbauten. Hervorzuheben sind besonders auch in technischer und wirtschaftlicher Beziehung gleich erfolgreich ausgeführte Fabrikbauten, die Taaks mit vollständiger maschineller Einrichtung und allem, was zu einem betriebsfertigen Fabrikbau gehört, errichtet hat. Zu den am meisten bekannt gewordenen Bauten gehören die Garvenswerke und Günther Wagner in Hannover sowie die Wollwäscherei und Kämmerei Döhren. Schlachthäuser, Zuckerfabriken, Brauereien sind ebenfalls zu nennen. Für die Anerkennung seiner Arbeiten spricht die Tatsache, daß er vielfach in den Aufsichtsrat der Firmen berufen wurde, für die er geabeitet hatte.

Die lange Liste von ausgeführten Ingenieurwerken auf den verschiedensten Gebieten zeigt uns Otto Taaks als den auf wissen-

schaftlicher Grundlage arbeitenden großen Ingenieur. Er liebte seinen Beruf und seine Arbeit, und deshalb hat er, ohne selbst ein eignes industrielles Werk zu begründen, doch bahnbrechend mitgearbeitet an der großen industriellen Entwicklung unseres Vaterlandes.

Aber sein Wirken erstreckte sich weit über das Tätigkeitsgebiet seines hannoverschen Ingenieurbureaus hinaus. Von dem Grundsatz ausgehend, den er wohl zuweilen ausdrücklich als für sich maßgebend bezeichnet hat, daß ein Mann, der sich selbst eine gesicherte Position geschaffen habe, nicht nur verpflichtet sei, Geld als Steuern abzuführen, sondern auch Arbeit für die Allgemeinheit zu leisten, hat er sich die großen Organisationen seiner Fachgenossen ausgesucht für diese ehrenamtliche Tätigkeit, die er mit dem gleichen Ernst und dem tiefen Pflichtgefühl erfüllt hat, wie seine eigentliche Berufsarbeit.

Der Verband deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine hat stets auf ihn rechnen können, aber vor allem galt doch seine Arbeit unserem Verein, in den er 1883 in Hannover aufgenommen wurde. 14 Jahre lang hat er in den verschiedensten Ämtern des Hannoverschen Bezirksvereins, dessen Vorsitzender er 1886 geworden war, gearbeitet und für den Gesamtverein 1892 in Hannover eine glänzende Hauptversammlung durchgeführt, an die wir uns besonders erinnern werden, wenn wir in diesem Jahre die 63. Hauptversammlung dort begehen. In den Vorstand des Gesamtvereins trat Otto Taaks bereits 1893 ein; 1904 wurde er zum Vorsitzenden-Stellvertreter gewählt und 1906 nach dem Hinscheiden des Kurators von Borries wurde er in Berlin beim 50jährigen Jubiläum des Vereins zum Kurator gewählt, ein Amt, das er bis 1919 mit großer Hingabe zum Wohle des Vereines durchgeführt hat. In diesen langen Jahren hat er mit den Vorsitzenden Slaby, Treutler, Sorge, von Miller, von Rieppel und Reinhardt zusammen für den Verein gearbeitet. Erst als Siebzigjähriger legte er unter der Last des Alters sein Amt in die Hände des Vereines zurück, der ihn darauf zu seinem Ehrenmitglied und zum lebenslänglichen Mitglied des Vorstandsrates ernannte. Zur gleichen Zeit wurde er auch Ehrenmitglied des Hannoverschen Bezirksvereines. Als er seine Tätigkeit als Kurator aufnahm, erhielt er den Titel eines königl. Baurates, und zwei Jahre vor Niederlegung des Amtes den eines Geheimen Baurates.

Als nach dem Hingang von Th. Peters auf dem Weg zum Größerwerden des Vereines schwierige Jahre kamen, hat Taaks, fast kann man sagen, die Arbeit eines ersten Direktors ehrenamtlich auf sich genommen und unermüdlich unter vollem Bewußtsein seiner Verantwortung für das Einarbeiten der nächsten Generation gesorgt. Wie umfangreich und wichtig das war, was Otto Taaks hier im Stillen für den Verein gewirkt hat, ist kaum je über den Kreis der zunächst Beteiligten hinausgedrungen. Seine große Menschenkenntnis und die Gabe, als hervorragender Versammlungsleiter die verschiedensten Auffassungen auf den gleichen Nenner zu bringen, hat seine Arbeit ungemein erfolgreich gestaltet. Mit der ausgeglichenen Ruhe des nordischen Menschen hat er es immer wieder verstanden, sachlich ernste Arbeiten in den Vordergrund zu rücken, auch gegenüber temperamentvoll ausgedrückten Meinungsverschiedenheiten.

Otto Taaks hat, überzeugt von den großen Aufgaben freier, von Staat und Interessentenkreisen unabhängiger Selbstverwaltungskörper, an die Zukunft des Vereines deutscher Ingenieure geglaubt. Als es vielen Vereinsmitgliedern schon unverantwortlich kühn erschien, das eine von den beiden Grundstücken zu erwerben, auf denen das heutige Vereinshaus steht, hat er den Kauf beider Grundstücke durchgesetzt, und es war für ihn eine besondere Freude und große Genugtuung, als er am 5. Juni 1914 dieses stolze Haus einweihen konnte, er, der das noch mit der Wohnung des Vereinsdirektors verbundene kleine Vereinsbureau gekannt hatte.

Bei der feierlichen Übernahme des Hauses ernannte die Technische Hochschule Hannover Otto Taaks zum Ehrendoktor. Als man damals wohl glaubte, für lange Zeiten dem Größerwerden des Vereins Rechnung getragen zu haben, riet der Kurator, rechtzeitig an eine Erweiterung zu denken, und auch damit hat er, wie die heutige Entwicklung zeigt, die Zukunft richtig eingeschätzt.

Den Verein hat Otto Taaks besonders geschätzt wegen seiner großen Erziehungsaufgaben, zunächst in technisch-wissenschaftlicher Hinsicht. Deswegen hat er so großen Wert gelegt auf die weitere Entwicklung der Zeitschrift und auf das wissenschaftliche Leben in den Bezirksvereinen. Einzelnen der großen Arbeitsgebiete des Vereins hat sich Taaks mit besonderer Hingabe gewidmet. Es sei hier erinnert an seine Tätigkeit als Vorsitzender der Dampfkessel-Normenkommission und des Schiedsgerichtswesens. Vor allem aber hat er den Deutschen Ausschuß für technisches Schulwesen begründet und über zehn Jahre als Vorsitzender geleitet. Wer die unter seiner Leitung entstandenen in sechs Bänden niedergelegten Abhandlungen und Berichte durchsieht, erkennt, welch gründliche Arbeit für die Technik hier von ihm geleistet wurde.

Taaks erkannte, je tiefer er in den Zusammenhang der Dinge eindrang, daß Erziehungsarbeit an der jungen Generation mit das Wichtigste ist, was die Männer, die auf der Höhe ihres Berufslebens stehen, zu leisten haben. Er liebte die Jugend und suchte ihr zu helfen, wo irgend es möglich war. Es steckte in ihm ein gut Stück hervorragendes Erziehertalent, und mancher, der ihn näher kannte, sagte wohl, an ihm sei ein großer Lehrer verloren gegangen. Aber man kann erziehen und lehren, auch wenn man nicht auf dem Katheder einer Hochschule steht. Doch hierzu gehört nicht nur hervorragendes technisches Wissen und Können, das Taaks in so großem Maße besaß, sondern vor allem auch die große Persönlichkeit und die tiefe innere Herzensgüte, die den Weg zum andern Menschen findet. Durch sein Leben, durch den Wert seiner Persönlichkeit wurde Otto Taaks der Erzieher vieler, die ihm zeitlebens von Herzen danken werden, was er ihnen war und gegeben hat.

Zur ganzen Persönlichkeit von Otto Taaks gehört auch seine innere, tief religiöse Lebensauffassung, die ihn 26 Jahre lang als Mitglied im Gemeindekirchenrat der reformierten Kirchengemeinde in Hannover hat arbeiten lassen, und seine warme innerliche Zuneigung zu seiner Familie, seinen näheren Verwandten und seinem engeren Freundeskreise. Seit 1881, wo er den Ehebund mit der Tochter des Baurats Hagen in Hannover schloß, bis zu seinem Hinscheiden war sein eigenes Haus ihm auch die Stätte friedlicher Erholung von angestrengter Berufsarbeit gewesen. Viel gab ihm die Musik, die er auf Geige, Bratsche und Cello — häufig bei Kammermusikabenden im eigenen Hause — selbst ausübte. Bis ins letzte Jahr hat er mit seiner gleich ihm musikliebenden Tochter gern klassische Musik auf sich wirken lassen. Schwere Schicksalsschläge haben ihn nicht verschont. Zwei Kinder sind ihm früh gestorben, und 1909 nahm der Tod ihm seinen einzigen Sohn im blühenden Alter von 18 Jahren, den er sich wohl als Nachfolger auch in seiner Berufsarbeit gedacht haben mochte. Seine Gattin und seine Tochter waren ihm ein Trost in den folgenden schweren Jahren. Mit seinem Bruder, Georg Taaks, in Bremen, verband ihn weit über das verwandschaftliche Verhältnis hinausragende innere Freundschaft.

Und noch eine starke Farbe in dem Bild des Mannes mit der großen schlanken Erscheinung und dem allen, die ihn kannten, unvergeßlichen wundervollen Kopf darf hier nicht vergessen werden. Otto Taaks war Deutscher von ganzer Seele. Sein Deutschtum äußerte sich nicht in großen Worten, er lebte es. Mit allen Fasern seines Herzens hing er an seiner Heimat. Er war und blieb der Friese von Blut und Abstammung seiner Vorfahren, und mit Hermann Allmers Friesengesang bekannte er: „Wer die Heimat nicht liebt und die Heimat nicht ehrt, ist ein Schuft und des Glücks in der Heimat nicht wert.“ Aber dieses Heimatsgefühl ließ ihn erst recht das größere Vaterland, das ganze Deutschland lieben. Der unglückliche Ausgang des Krieges erschütterte ihn aufs tiefste, aber sein Glaube an die große Zukunft unseres Volkes ließ ihn auch diese Jahre ertragen, er hoffte auf die Jugend. Den Glauben, daß sie nie dulden werde, daß engstirnige Stammeseigensucht und Parteihader das Größte, was uns noch geblieben ist, die deutsche Einheit, zertrümmern werde, hat er mit ins Grab genommen.

Die Anfänge von schwerem Siechtum haben ihm das Leben in den letzten Jahren schwer gemacht, aber immer blieb er der an sich zuletzt denkende aufrechte Mann. Nach kurzem Krankenlager ist er am 28. Februar 1924 friedlich entschlafen. Wir werden ihn nicht vergessen.

C. M.

Verein deutscher Ingenieure.

Vorsitzender: Dr. G. Klingenberg, Kurator: Dr. G. Lippart, Direktoren: C. Matschoß, D. Meyer, Hellmich

Hannoverscher Bezirksverein des Vereines deutscher Ingenieure.

Die Entwicklung des Schachtabteufens nach dem Gefrierverfahren in den letzten zwanzig Jahren.

Von Dr.-Ing. Erlinghagen, Berlin.

Anwendung des Gefrierverfahrens im Anfang der Entwicklung. Bohren mit Schnellschlag und Dickspülung. Abweichen der Bohrlöcher von der Senkrechten. Absatzweises Gefrierverfahren. Ausfrieren des Gebirges. Einfluß der Gebirgsschichten auf die Frostbildung. Kälteverteilung im Gebirge und ihre Bestimmung. Entstehung der Frostmauer. Ihre Wirkung auf das Grundwasser. Das Abteufen. Auskleidung von Gefrierschächten. Tübbings und Mauerwerk. Bedeutung der Frostschutzmittel. Auftauen des gefrorenen Gebirges. Auftauen vom Schachtinnern aus. Besonderer Ausbau für tiefe Schächte.

Während des Krieges und in den sogenannten Friedensjahren danach hat sich die Bergwerksindustrie darauf beschränkt, neue Schächte nur in den dringendsten Fällen abzuteufen. Die Ausgaben hierfür waren, abgesehen von den hohen Materialkosten, so bedeutend, daß nur wenige große, gut fundierte Gesellschaften an solche Neuanlagen denken konnten. Aber selbst diese schreckten in den Fällen davor zurück, wo Sonderverfahren, namentlich das Gefrierverfahren, angewandt werden mußten.

Waren überhaupt derartige Pläne in Erwägung gezogen, so hat die heutige Lage unserer Gesamtwirtschaft ihnen längst ein Ende gesetzt. Und doch können sie auf die Dauer nicht unausgeführt bleiben. Sobald die Reparationsfrage in einer Weise gelöst ist, daß unserer Wirtschaft ein Atmen möglich ist, wird man die Pläne zur Niederbringung neuer Schächte unbedingt wieder aufnehmen müssen.

Obwohl das Gefrierverfahren bekanntlich eine deutsche Erfindung — des Bergingenieurs P o e t s c h — ist, wurde sie doch in der ersten Zeit ihrer Anwendung, besonders in den 80er und 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts, in erster Linie in Frankreich bevorzugt. In diesen beiden Jahrzehnten sind in Frankreich und Belgien, hauptsächlich im Pas de Calais, in Teufen von etwa 30 bis 100 m einige 40 Schächte von den Zechen meistens in eigener Leitung niedergebracht worden. Die Gebirgsverhältnisse eignen sich gerade hier gut für die Anwendung des Gefrierverfahrens, weil fast überall, abgesehen von wenig mächtigen Schwimmsandschichten in den oberen Teufen, nur festes Kreide- und Mergelgebirge auszufrieren und abzuteufen war.

Als aber die einzige Firma, die sich mit derartigen Arbeiten befaßte, in England Schächte von größerer Teufe (Easington Colliery 183 m) übernahm, wo nicht die einfachen Verhältnisse des Pas de Calais vorlagen, hat sie versagt und sich vom Gefrierverfahren überhaupt zurückgezogen. Diese beiden Schächte wurden dann einige Jahre später von einer deutschen Firma fertiggestellt.

Auch eine beratende französische Ingenieurfirma, die E n t r e p r i s e g é n é r a l e d e f o n ç a g e d e p u i t s, P a r i s, hat wohl eine Anzahl Schächte in Frankreich bei günstigen Verhältnissen ausgeführt, ist aber an einem Salzschacht in Deutschland —, Alkaliwerke Ronneberg — gescheitert. Sie wurde später von der deutschen Schachtbau-Industrie bei Begründung von Tochtergesellschaften im Ausland übernommen und im Laufe der Zeit aufgelöst.

Die eigentliche Entwicklung des Gefrierverfahrens bis zur heutigen großen Leistungsfähigkeit ist lediglich durch deutsche Firmen geschaffen worden. Daher besteht eine besondere Schachtbau-Industrie, die sich mit diesem Sonderverfahren beschäftigt, auch nur in Deutschland. Die einzige außerdeutsche Firma, die das Verfahren anwendet, ist eine deutsche Gründung in Belgien, deren bisherige Erfolge aber auf den deutschen Einfluß und die ihr zur Verfügung gestellten deutschen Erfahrungen zurückzuführen sind.

Beschreibung des Verfahrens.

Um die nicht standfesten oder stark wasserhaltigen Gebirgsschichten durchteufen zu können, „friert“ man sie „aus“, zu welchem Zweck rund um den Schacht je nach der Teufe in einer kleineren oder größeren Entfernung vom Schachtstoß etwa 1 m voneinander eine Anzahl Bohrlöcher bis in die wassertragende Schicht heruntergebracht wird. In diese Bohrlöcher werden dann unten geschlossene Rohre eingebaut, die man Steigrohre oder Gefrierrohre nennt. Sie nehmen ein zweites Rohr, das sogenannte Fallrohr auf, durch das kalte Lauge auf den Boden des Gefrierrohres gepumpt und dann im Steigrohr in die Höhe gedrückt wird, wobei sie durch die Wand des Gefrierrohres Kälte an das Gebirge abgibt und dieses allmählich in festen Zustand überführt.

Steig- und Fallrohr sind an ein Gußstück, den Gefrierrohrkopf, angeschlossen, der mit Ventilen für die ein- und rückströmende Lauge und mit einem Stutzen versehen ist, an dem jederzeit die Temperatur der rückkehrenden Lauge gemessen werden kann.

Für die Verteilung der Lauge an die einzelnen Fallrohre und Aufnahme der aus den Gefrierrohren auslaufenden Lauge werden zwei Ringe — Sammel- und Verteilring genannt — mit der Anzahl der Gefrierrohre entsprechenden Anschlüssen versehen. Zur Abkühlung der Lauge dient je nach der Tiefe des Schachtes eine größere oder kleinere Gefrieranlage, die nach dem Ammoniak- oder dem Kohlensäureverfahren arbeitet.

Durch das ständige Umlaufen der Lauge in den Gefrierrohren bilden sich nun um diese herum Ringe aus gefrorenem Gebirge, die sich nach und nach miteinander vereinigen und schließlich um den Mittelpunkt des Schachtes einen geschlossenen Frostzylinder herstellen, unter dessen Schutz es möglich ist, die wasserführenden oder nicht standfesten Schichten ohne Gefahr zu durchteufen.

Man ersieht aus dieser Schilderung, daß es sich bei dem Gefrierverfahren hauptsächlich um drei Arbeitsabschnitte handelt:

1. um das Bohren der Löcher zur Aufnahme der Gefrierrohre,
2. das Ausfrieren des Gebirges und die Herstellung der Frostmauer und
3. das eigentliche Abteufen und Sichern der Schachtstöße mit Tübbings oder Mauerwerk.

Dann steht der Schacht ausgebaut bis ins wassertragende Gebirge. Damit ist die Aufgabe, besonders bei tiefen Schächten, aber noch keineswegs gelöst. Solange die Frostmauer aufrechterhalten wird, besteht für den Schacht keine Gefahr. Erst wenn die Frostwirkung aufhört und nach dem Auftauen der Gebirgs- und Wasserdruck sich auswirken kann, ist man in der Lage, mit dem Schacht die Probe zu machen.

Bei Schächten von geringerer Teufe spielt dieser vierte, der wichtigste Abschnitt, das Auftauen und Dichten, keine große Rolle. Bei tiefen Schächten ist er aber der Prüfstein für die ganze Arbeit.

Herstellung der Bohrlöcher.

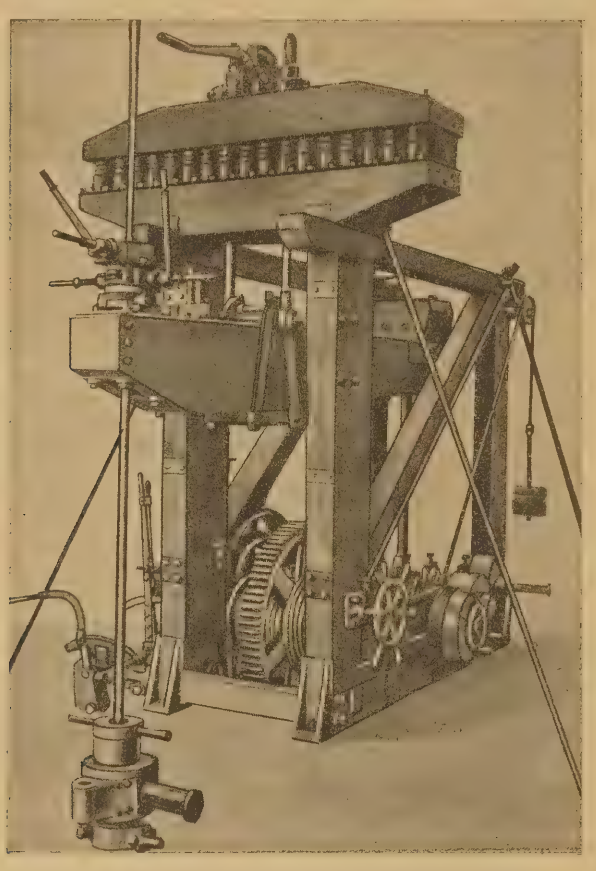
Als Gebirge für das Gefrierverfahren kamen in Deutschland in der Hauptsache Schwimmsand, toniger Sand, Ton und ähnliche Schichten in Frage. Man brachte noch um 1903 herum die Löcher mit klarer Wasserspülung herunter und verwendete zum Auflockern des Gebirges hauptsächlich den sogenannten Wühler, einen Spitzbohrer, der am Gestänge befestigt in das Gebirge gedreht wurde. Das Rohr ließ man möglichst nachsacken. Eine beliebte Art, die Bohrrohre schnell auf Teufe zu bringen, war auch das Bohren mit dem Rohr selbst. Zu diesem Zweck hob man das Rohr am Flaschenzug hängend 4 bis 5 m mit einer Winde an und ließ es dann frei durch ihr eigenes Gewicht herunter ins Gebirge sinken, wobei gleichzeitig durch das Rohr, das unten mit einer Schneide versehen war, die Wasserspülung geschickt wurde. Auf diese Weise erreichte man ganz gute Erfolge, machte aber das Gebirge sehr unruhig und überließ es dem Rohr, sich im Gebirge den leichtesten Weg zu suchen. Dies Vorgehen war nun einmal mit Rücksicht auf das Bestreben, möglichst senkrechte Löcher zu bohren, zu verwerfen, dann aber lag auch die Gefahr vor, daß durch das unüberwachbare Herausspülen von viel mehr Gebirge als für die Herstellung des Loches notwendig war, unter Tage Zusammenbrüche hervorgerufen wurden, die sich über Tage auswirken und Senkungen der Tagesanlagen hervorrufen konnten.

Auch mit Ventil und Schlammbüchse versuchte man die Gefrierlöcher im Schwimmsand niederzubringen; durch das ständige Herausfördern des immer wieder nachfallenden Sandes sind aber tatsächlich in einem mir bekannten Fall ebenfalls derartige Zusammenbrüche im Innern entstanden, daß oben die Tagesanlagen einzustürzen drohten.

Sowie man auf festes Gebirge kam, mußte natürlich an Stelle des Drehbohrens das Stoßbohren mit dem Meißel einsetzen. Durch das vorher beschriebene Bohrverfahren in dem sandigen und tonigen Gebirge war man aber je nach Teufe gezwungen

gewesen, manchmal 4 bis 5 Rohrtouren einzubauen, so daß man schließlich im wassertragenden Gebirge bei der Meißelbohrung nur noch einen kleinen Durchmesser zur Verfügung hatte, was gerade kein Vorteil für das Gefrierverfahren war.

Mit einem Schlage wurde das Tiefbohren im Schwimmsand usw. auf eine andere Grundlage gestellt, als man auch hier um 1904 anfing, das von Honigmann bei seinem Schachtbohren angewandte Verfahren mit sogenannter „Dickspülung", d. h. einer starken Lösung von Ton in Wasser, zu gebrauchen. Es wurde dadurch möglich, mit allmählich immer besserer Leistung durch stoßendes Meißelbohren mit den damals aufkommenden Schnellschlag-Bohrvorrichtungen Schwimmsandschichten bis 400 m Mächtigkeit zu durchbohren, ohne außer den Standrohren mehr als 2, höchstens 3 Rohrtouren einzubauen. Die Bohrlochwand wird durch diese Dickspülung in gewissem Sinne verkleistert und bleibt bei dem Gegendruck der spezifisch schwereren Dickspülung gegenüber dem Gebirgswasserdruck einige Tage, jedenfalls genügend lange stehen, um eine Rohrtour bis zum wassertragenden Gebirge einbauen zu können.


Abb. 1. Tiefbohrvorrichtung von Gebhardt & König.

Die Schnellschlagbohrung kann fast überall angewendet werden, sofern die Schichten nicht zu hart sind und vor allem nicht zu stark einfallen. Eine der neuesten Vorrichtungen dieser Art ist in der Abb. 1 dargestellt. Diese kennzeichnet eine Tiefbohrvorrichtung, wie sie Gebhardt & Koenig A.-G., Nordhausen, jetzt vorzugsweise für große Teufen bis 1400 m verwendet, und zwar für Schnellschlagbohrung mit Meißel und steifem Gestänge und für drehendes Bohren mit Diamant- oder Volomitkronen; die Maschine kann auf besonderen Wunsch auch so ausgerüstet werden, daß mit Freifall gebohrt werden kann.

Die Vorrichtung nach Abb. 2 wird hauptsächlich für Gefrierbohrungen verwandt; sie besteht aus Seilschnellschlägen, die ganz aus Eisen gebaut werden. Das Wesentliche der Konstruktion besteht darin, daß der Hub beim Bohren vermittels eines Drahtseiles von der Antriebwelle auf das Gestänge übertragen und hierdurch die Möglichkeit gegeben wird, durch Verwendung einer entsprechenden Anschlußvorrichtung bis zu 15 m in einem Zuge abzubohren.

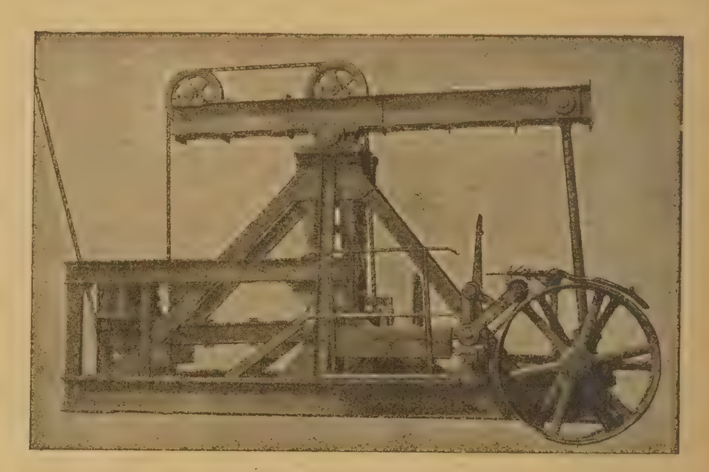
Nur bei stark einfallenden und sehr harten Schichten muß man zum Freifallbohren zurückgreifen, um durch die größere dynamische Kraft des mit der Schwerstange und dem Freifall-Instrument verbundenen Meißels bessere Erfolge und auch genauer senkrechte Löcher zu erreichen.

Abweichung der Bohrlöcher und deren Feststellung.

Wohin man kommt, wenn man solche Schichten mit Schnellschlagvorrichtungen durchbohren will, zeigt der Lotungsplan des Gefrierschachtes Mathildenhall (vergl. Abb. 3). Die Bohrleistung mit der Schnellschlagvorrichtung war in dem stark einfallenden Sandstein ausgezeichnet; als man indes daran ging, die Löcher abzuloten, stellte es sich heraus, daß sie alle in der Einfallrichtung der Schichten abgewichen waren, wie Abb. 3 es darstellt, und zwar so stark, daß keine von ihnen als Gefrierbohrloch zu verwenden war. Die ganze Arbeit mußte deshalb mühsam mit Freifallbohrung noch einmal ausgeführt werden.

Selbst im Schwimmsand kann man sich beim Schnellschlagbohren durch hastiges Vorwärtsdrängen die ganze Arbeit verderben; wenn z. B. ein Findling angetroffen wird, weichen die Löcher so stark ab, daß man sie aufgeben muß. Bei vorsichtigem Arbeiten aber bekommt man im Schwimmsand und in tonigen Sanden usw. die Löcher fast senkrecht hinunter.

Über dies mögliche starke Abweichen der Bohrlöcher von der Senkrechten war man sich Anfang dieses Jahrhunderts noch nicht recht klar. Man sagte sich wohl, ganz senkrecht werden die Löcher nicht stehen, und versuchte auch mit dem Senklot ihre Richtung zu prüfen. Im allgemeinen glaubte man aber, daß die Abweichungen von keiner Bedeutung für das Gelingen des Gefrierverfahrens wären.


Abb. 2. Schnellschlagbohr-Vorrichtung.

Damit hatte man wohl bei den geringen Tiefen, die damals in Frage kamen, recht, wenn auch die fast regelmäßig eintretenden Unfälle und Durchbrüche bei den ersten Gefrierschächten selbst von geringer Teufe meines Erachtens unzweifelhaft auf die schlechte Stellung der Gefrierlöcher zueinander zurückzuführen waren.

Das Bohren mit dem ganzen Rohr, das ich oben schilderte, mußte aber bei jedem Ingenieur die Gewißheit wachrufen, daß die auf diese Weise gebohrten Löcher unmöglich eine auch nur einigermaßen senkrechte Richtung haben könnten.

Das fiel mir auch besonders auf, als ich mich 1903 eine Zeitlang auf einem Gefrierschacht aufhielt. Ich habe mich dann eingehend mit dem damaligen Verfahren, die Löcher abzuloten, beschäftigt und habe 1907 eine Vorrichtung konstruiert, durch die man das Abweichen der Bohrlöcher in richtiger Weise ermitteln konnte.

Nach Veröffentlichung dieser Konstruktion und Besprechen der ganzen Frage haben sich dann andre Ingenieure mit der Frage befaßt, und es bestehen heute durchaus genau arbeitende Meßgeräte, durch die man genau feststellen kann, wie stark und nach welcher Richtung die Löcher von der Senkrechten abweichen. Ich verweise diesbezüglich auf die Konstruktionen der Gesellschaft für nautische Instrumente und der Lotgesellschaft m. b. H., Kiel, die beide die Eigenschaft des sich schnell drehenden Kreisels, sich immer in Nord-Süd-Richtung einzustellen, benutzen, um durch geeignete Übertragungsvorrichtungen die eigentliche Meßvorrichtung immer in die Nord-Süd-Richtung zurückzudrehen, falls sie beim Hinablassen sich etwa aus dieser Richtung verdrehen sollte.

Die Möglichkeit einer genauen Ermittlung des Standes der Bohrlöcher war überhaupt erste Voraussetzung, das Gefrierverfahren für größere Tiefen anzuwenden. Deshalb hatten die Deutschen Solvaywerke, die als die ersten im Jahre 1906 daran gingen, das Gefrierverfahren für große Tiefen, über 300 m,

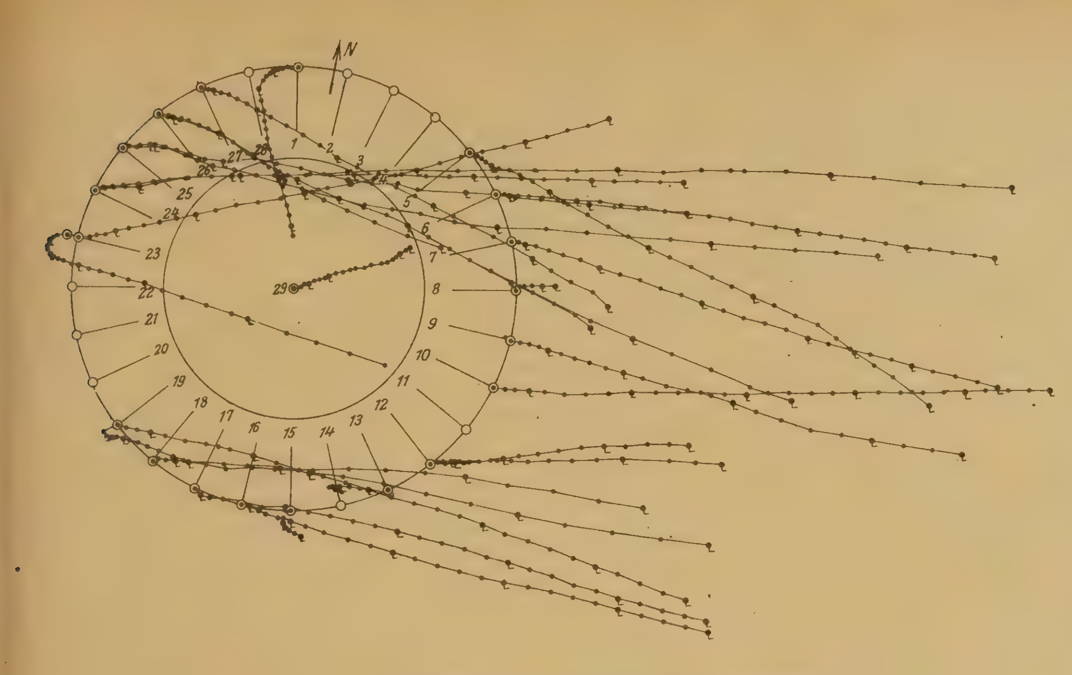


Abb. 3. Lotungsplan des Gefrierschachtes Mathildenhall.

in der Nähe von Wesel zu gebrauchen, seinerzeit in richtiger Erkenntnis der Sachlage auch die Bedingung an die Erteilung des Auftrages geknüpft, daß der gesamte Verlauf der Löcher mit einem zuverlässigen und ausgeprobten Meßgerät festgestellt werden müsse. Dieser Anforderung wurde durch meine bei diesem Schacht zuerst gebrauchte Konstruktion entsprochen.

Die Schwierigkeiten nach dieser Richtung hin, die in erster Linie in der Ermittlung des Verdrehungswinkels des Apparates beim Hinablassen in das Bohrloch bestanden, sind also völlig beseitigt; auch die Tiefbohrtechnik ist heute so entwickelt, daß sie den größten Ansprüchen gerecht wird.

Einen besonderen Vorteil bietet die Kenntnis des Bohrlochverlaufes insofern, als man jetzt in der Lage ist, wenn auch nicht gerade senkrecht zu bohren (auf diese Aufgabe haben sich eine Unzahl Erfinder, allerdings erfolglos, geworfen), so doch den Verlauf des Loches derart zu gestalten, daß es für unsre Zwecke an der richtigen Stelle wirken kann.

Wenn man nämlich durch die Ablotung des Loches festgestellt hat, daß es z. B. in 200 m Teufe nach Osten abweicht, während es richtig wirkend nach Westen ausweichen müßte, dann verfüllt man das Loch zunächst bis zu der kritischen Tiefe und zieht die bis dahin reichenden letzten Rohrtouren. Es wird nun eine neue Rohrtour eingelassen, deren unterstes Rohr als sogenanntes Keilrohr hergestellt ist, d. h. das Rohr ist der Länge nach schräg abgeschnitten und in dem noch vorhandenen Teil ein Keil mit dem starken Ende nach unten eingesetzt, vergl. Abb. 4 bis 11. Das Rohr wird nun entsprechend dem Verlauf des Loches nach einem besonderen Verfahren so eingebaut, daß durch die Keilwirkung der Bohrmeißel nach der gewünschten Richtung abgelenkt wird.

Auf diese Weise sind vor dem Kriege bei zwei tiefen Schächten der Thorne Colliery in England im klüftigen Kalkstein eine Reihe stark abweichender Löcher wieder verwendungsfähig gemacht worden. Ebenso sind nach diesem Verfahren, für das die Gesellschaft für nautische Instrumente einige besondere Patente erworben hat, bei den Schächten der Hohenlohe-Werke in Oberschlesien vor dem Kriege manche Löcher, die man sonst hätte aufgeben müssen, gerettet worden.

Ist also der Traum so mancher Erfinder, senkrechte Löcher zu bohren, auch noch nicht erfüllt, so ist man doch durch dieses Richtverfahren einen ordentlichen Schritt weiter vorwärts gekommen.

Die Anstrengungen, die man beim Bohren der Gefrierlöcher noch aufzuwenden hat, liegen hauptsächlich nur noch in der Richtung, daß man suchen muß, an Hand der jetzt vorhandenen Hilfsmittel die normal vorgesehenen Löcher möglichst senkrecht herunterzubringen, um so Ersatzlöcher für schief gelaufene Löcher zu sparen.

Einmal wird dadurch die gleichmäßige Bildung der Frostmauer günstig beeinflußt, dann aber auch verringert sich mit jedem Loch, das man weniger zu machen hat, Arbeit und Materialverlust. Einen Rohrverlust in Höhe von fast $^1/_7$ des ganzen Schachtpreises, wie es vor dem Kriege vorgekommen ist, kann man heute bei der großen Materialteuerung nicht mehr zulassen.

Bevor ich dieses Kapitel verlasse, möchte ich noch mit ein paar Worten

das absatzweise angewandte Gefrierverfahren

berühren. Bei manchen Gebirgsverhältnissen ist es möglich, den Schacht 100 m und mehr trocken mit der Hand abzuteufen. Erst dort treten so starke Wasserzuflüsse auf, oder das Gebirge wird so schwierig, daß das Gefrierverfahren Platz greifen muß. Man ist dann so vorgegangen, daß man beim Abteufen des trockenen oberen Teils Schlitze so weit in den Gebirgsstoß hinein vorsah, wie es dem Gefrierlochkreis entsprach. In diese hinter dem Schachtausbau liegenden Aussparungen im Gebirge baute man nun je nach Fortschritt der Abteufarbeit Blechlutten ein oder, wenn das Gebirge standfest war, späterhin eine Standrohrtour. Durch die dadurch herbeigeführte ausgezeichnete Führung des Bohrgestänges bohrte man dann die Gefrierlöcher für den unteren Teil ohne Schwierigkeiten und ohne allzu große Abweichungen ab.

Schwieriger gestaltet sich die Lage, wenn der obere Teil als Gefrierschacht niedergebracht und beim Weiterteufen später in größerer Teufe festgestellt wird, daß nochmals Schichten anstehen, die ebenfalls mit dem Gefrierverfahren überwunden werden müssen. In diesem Falle hat man sich so geholfen, wie es Abb. 12 zeigt. Es handelt sich hier um die Schächte Borth der Deutschen Solvaywerke, Wesel, von denen der erste 1907 begonnen wurde. Beim Weiterteufen mit der Hand etwa im Jahre 1911 fuhr man hier unterhalb des Gefrierschachtteils, der bis 330 m reichte, so viel Wasser an, daß trotz Anwendung aller Mühe schließlich auf das Gefrierverfahren auch für den unteren Teil zurückgegriffen werden mußte.

Nach meinem Vorschlage wurde nun der Schacht unten kegelig erweitert und 30 Standrohre eingebaut, deren unterer Teil allmählich nach außen in einer bestimmten Neigung abgelenkt wurde. Die Bohrungen — rd. 5000 m — konnten von 330 bis 500 m dank der guten Führung durch die Standrohre ohne Schwierigkeiten in drei Monaten heruntergebracht werden, ohne daß ein Ersatzloch notwendig war. Der von der Bergwerksgesellschaft selbst nach Fertigstellung des Gefrierschachtes bis rd. 390 m abgeteufte untere Teil wurde mit einem Betonpfropfen abgeschlossen und dann bis rd. 343 m mit Kies und Sand verfüllt. Nachdem die Standrohre *a* eingebaut waren, brachte man

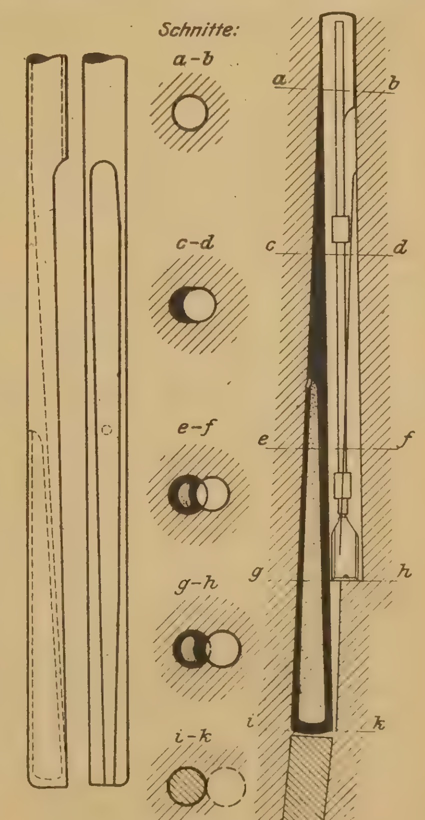


Abb. 4 bis 11. Ablenkrohr.

einen weiteren Betonklotz von etwa 9 m Dicke ein, über den sich eine Sandschüttung von 3 m legte, in die ein Schlangensystem eingebaut war, das mit der Gefrieranlage über Tage in Verbindung stand. Nach Abbohren der Löcher, das im toten Schachtwasser geschah, wurde die Sandschüttung unter Frost gesetzt; es war nach kurzer Gefrierdauer möglich, den Schacht zu sümpfen und das Gefrierverfahren für den unteren Teil in die Wege zu leiten. Obwohl hierbei nachher infolge der durch den Krieg bedingten schwierigen Arbeitsverhältnisse Unzuträglichkeiten auftraten, durch die es nötig wurde, den oberen Schachtteil wieder mit Wasser anzufüllen, und den unteren Teil unter diesen Umständen auszufrieren, so ist doch erwiesen worden, daß es möglich ist, durch Ausfrieren eines Sandpfropfens von der angegebenen Dicke Wasser mit einem Druck von rd. 35 at zurückzuhalten.

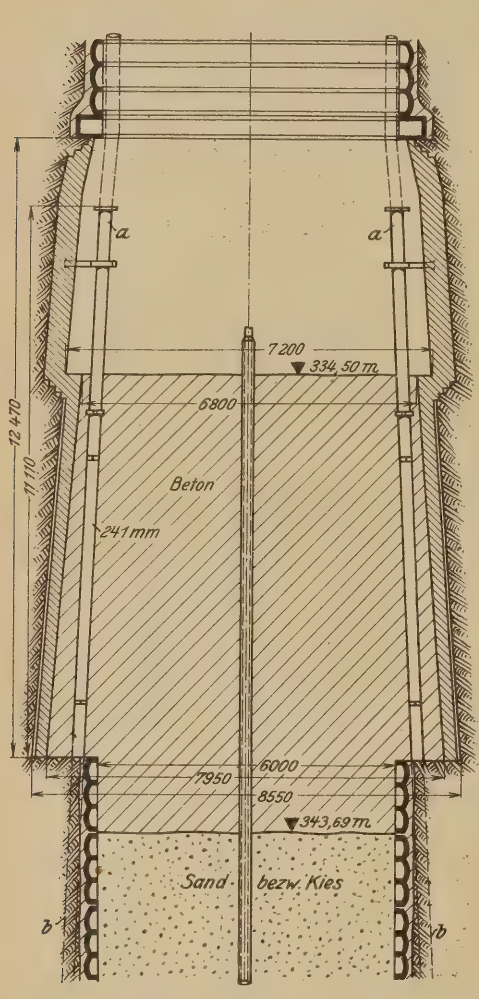


Abb. 12. Schachterweiterung.

Bohr- und gefriertechnisch war es von besonderem Wert, daß die Bohrungen nicht in der ihnen gegebenen Neigung dauernd abwichen, sondern allmählich wieder der Senkrechten zustrebten, was zweifellos dem Bestreben der bewegten Masse: Meißel, Schwerstange und Gestänge, sich möglichst senkrecht einzustellen, zuzuschreiben ist. Diese wichtige Feststellung hätte niemals gemacht werden können, wenn man nicht in den Meßgeräten das erforderliche Hilfsmittel gefunden hätte.

Wenn auch diese Art des Abteufens besonders durch den Krieg manche Schwierigkeiten mit sich gebracht hat und man sie ohne Zweifel in manchen Fällen abändern muß, so ist man unbedingt angewiesen mit ihr zu arbeiten, wenn in große Teufe Kälte heruntergebracht werden muß, z. B. zum Ausfrieren von solehaltigem Gebirge. Die Erfahrungen, die man bei Solvay gemacht hat, werden dann sicher gute Früchte tragen.

Bei diesem über 500 m tiefen Schacht hat man auch die Erfahrung gemacht, daß für solche Teufen Kältegrade, wie man sie mit Ammoniakmaschinen erzeugen kann, nicht ausreichen, daß man vielmehr hier Kohlensäuremaschinen zur Abkühlung der Lauge benutzen muß. Damit leite ich nun zum zweiten Arbeitsabschnitt, dem Gefriervorgang, über.

Der Gefriervorgang.

Für die Kälteerzeugungs-Anlagen kommen nach wie vor nur Ammoniak- und Kohlensäuremaschinen in Frage. Bei weniger tiefen Schächten eigentlich wohl nur die ersteren, weil diese wegen ihres geringeren Betriebsdruckes von etwa 10 at bevorzugt werden, während man bei Kohlensäuremaschinen je nach der Kühlwassertemperatur mit 60 bis 65 at arbeiten muß. Die Ammoniak-Maschinen sind aber beschränkt in der Erzeugung von tiefen Kältegraden. Praktisch erreicht man bei ihnen höchstens nur eine Laugentemperatur von — 26 °C, während man heute mit CO_2-Maschinen Temperaturen von 50 bis 55 ° Kälte erreichen kann. Die Lauge wird jetzt noch allgemein in sogenannten Refrigeratoren abgekühlt und von dort aus mittels Pumpen durch die Fallrohre in die Gefrierrohre gedrückt.

Das Verfahren, Kälte dem Gebirge zuzuführen, hat man im ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts systematisch ändern und verbessern wollen.

In dem Bestreben, im Gebirge über möglichst starke Kältequellen zu verfügen, lag es nahe, daß man davon absehen wollte, die Kälte durch ein Übertragungsmittel — die Gefrierlauge — an Ort und Stelle zu bringen. Damit sind ja auch große Kälteverluste verbunden, die zum Teil durch Strahlung in den langen Laugenleitungen entstehen, teils ihre Ursache haben in der doppelten Übertragung vom sich ausdehnenden Gas zur Lauge und von der Lauge zum Gebirge.

Deshalb haben eine Reihe Erfinder versucht, besonders für den Zweck der Gefrierschachtbauten Flüssigkeiten mit großer latenter Wärme anzuwenden und unmittelbar in den Gefrierrohren zu verdampfen. Ein praktischer Versuch in dieser Hinsicht ist, soweit mir bekannt, nur von Gebhardt & Koenig A.-G. bei einem Schacht in Holland ausgeführt worden. Hier führte man die flüssige Kohlensäure durch die Fallrohre auf den Boden der Gefrierrohre und saugte sie von dort mit dem Kompressor ab. Der Versuch mißglückte indes vollständig. Man hat es garnicht in der Hand, wie dies nötig ist, eine genau abgemessene Menge Flüssigkeit aus dem Fallrohr austreten zu lassen, selbst wenn man unten ein Ventil einbaut, das sich nur bei einem bestimmten Druck öffnet. Auch die Verteilung auf die vielen Gefrierrohre, die Regelmäßigkeit der Saugwirkung bei den einzelnen Rohren ist nur schwer zu bewerkstelligen. So kann es vorkommen, daß das eine Rohr mit flüssiger Kohlensäure gefüllt, das andere dagegen fast leer ist. Von einem gleichmäßigen Fortschritt der Kälte in das Gebirge hinein ist also keine Rede. Weitere praktische Versuche mit unmittelbarer Verdampfung sind nicht durchgeführt worden. Die Aussichten, daß man nach dieser Richtung hin Fortschritte machen kann, sind meines Erachtens auch nur sehr gering.

Mehr Erfolg hat man indes gehabt, tiefere Kältegrade zu erzeugen. Die Schachtbau-Industrie mußte auf diesem Gebiete neue Wege suchen, wenn sie der an sie gestellten Aufgabe, auch Schächte in solehaltigem Gebirge auszufrieren, gerecht werden wollte. So einfach schließlich die Lösung war, hat man doch lange zu kämpfen gehabt, bis das sogenannte Tiefkälte-Verfahren betriebstechnisch brauchbar war.

Die Schwierigkeiten waren begründet einmal in der Kälteerzeugung selbst, dann in dem Mangel eines tiefkältebeständigen Schmiermittels und eines ebensolchen Kälteträgers. Als Kältemittel kam nur Kohlensäure in Frage, denn um salzhaltiges Gebirge einigermaßen standfest zu machen, mußte man Kälte von mindestens — 40 °C in die Rohre hineinschicken. Aus betriebstechnischen Gründen geht man bei Schachtgefrieranlagen mit dem Saugdruck nicht gerne unter den Atmosphärendruck, weil sonst leicht Luft in die Leitungen dringen und den Effekt der Anlage mindern kann. Bei Ammoniak entspricht einem Gasdruck von 1,1 at aber nur eine Temperatur von — 30 °C, während Kohlensäure bei etwa 1 at abs 78 °C Kälte und bei etwa 9 at immer noch solche von 45 °C erzeugt.

Diesem Vorzug der Kohlensäure steht aber gegenüber, daß sie nur eine sehr geringe innere Verdampfungswärme hat. Bei 20 °C warmen Gasen beträgt sie etwa 32 kcal/m³, während sie bei 45 °C kalten Gasen, die einem Druck von rd. 9 at entsprechen, etwas über 60 kcal/m³ hat. Steht nun normales Kühlwasser von etwa 10 bis 12 °C zur Verfügung, kommt also die flüssige Kohlensäure mit etwa 15 ° Wärme vor dem Regelventil des Refrigerators zur Dehnung, so wird fast die ganze innere Verdampfungswärme dazu verbraucht, um die flüssige Kohlensäure bis auf Verdampfer-Temperatur, d. h. bis — 45 °C herunterzukühlen. In der Beseitigung dieses Mangels liegt das eigentliche Wesen des Tiefkälteverfahrens begründet, und die Lösung dieser Aufgabe bedeutet den einzigen Fortschritt auf dem Gebiet der Kälteindustrie, soweit Schachtgefrieren in Frage kommt.

Um die innere Verdampfungswärme der flüssigen Kohlensäure möglichst weit zur Kühlung der Lauge in den Refrigeratoren auszunutzen und nicht zum Herunterkühlen von sich selbst, schaltete man hinter den Kondensator, aus dem die verdichtete und verflüssigte Kohlensäure mit etwa 15 bis 20 °C Wärme je nach Kühlwassertemperatur heraustrat, eine besondere Unterkühlung der Kohlensäure ein. Man hat diese auf verschiedene Weise vorgenommen. Am gebräuchlichsten ist wohl das Verfahren, daß man die flüssige Kohlensäure durch ein Schlangensystem schickt, das sich in einem mit Lauge gefüllten Refrigerator befindet, der durch einen Kohlensäure- oder Ammoniakkompressor gekühlt wird. Es befindet sich also in dem Gefäß ein System Schlangen, aus dem zwecks Kühlung der Lauge Kohlensäure oder

Ammoniak abgesaugt werden, und ein zweites, durch das im Gegenstrom die flüssige Kohlensäure fließt und sich dabei abkühlt.

Kommt diese nun, z. B. auf — 10 °C unterkühlt, zum Expansionsventil des Refrigerators, dann werden von den ihr eigenen 60 kcal innerer Verdampfungswärme nur etwa die Hälfte, rund gerechnet, verbraucht, um die Flüssigkeitswärme auf die Verdampfungstemperatur herunterzudrücken, der Rest dient dann zur weiteren Abkühlung der Lauge.

Nebenbei erwähnen möchte ich hier noch, daß das Verdichten der mit 8 bis 9 at angesaugten Kohlensäuregase auf den Verflüssigungsdruck von etwa 55 bis 60 at zwei Kompressionsstufen erfordert. Man arbeitet also allgemein bei Tiefkälteverfahren mit Hoch- und Niederdruck-Kompressor.

Zum ersten Male gelang es bei dem 120 m tiefen Schacht Niedersachsen in Wathlingen mit Kohlensäuremaschinen von Wegelin & Hübner A.-G., Halle, die Laugentemperatur auf etwa 45 °C Kälte zu halten. Das Ausfrieren dieses Salzschachtes hat zum vollen Erfolg geführt. Das spätere Ersaufen des Schachtes hat mit dem Gefrierverfahren selbst nichts zu tun. Schwierigkeiten entstanden hier nur durch die Anwendung des Kälteträgers, zu dem man denaturierten Spiritus verwandte. Ob dies nun an der Leichtflüssigkeit des Mittels gelegen hat, oder ob besonders viele Rohre undicht gewesen sind, ist mir nicht bekannt, jedenfalls waren häufig starke Verluste des umlaufenden Kälteträgers zu verzeichnen.

Die Firma Gebhardt & Koenig A.-G., die dann im Verlauf der folgenden Jahre das Tiefkälteverfahren weiter entwickelte und bei etwa 10 Salzschächten von 100 bis 245 m Tiefe anwandte, hat als Kälteträger keinen Spiritus mehr verwandt, der sich des Preises wegen schon verbot, sondern eine Mischung aus 85 Teilen Chlorkalziumlauge von 30° Bé, 5 Teilen Methylalkohol und 10 Teilen Chlormagnesiumlauge von 30 bis 35° Bé. Dieser Kälteträger hat sich durchweg bewährt, und mit ihm sind ohne Schwierigkeiten Temperaturen von — 50 °C Kälte dauernd übertragen worden.

Art und Größe der Gefrieranlage.

Um nun für einen Gefrierschacht Art und Größe der Anlage zu bestimmen, sind eine ganze Reihe von Feststellungen nötig. Zunächst spielen die Menge und Temperatur des Wassers, das zur Kühlung und Verflüssigung der verdichteten Gase erforderlich ist, eine große Rolle. Ist wenig Wasser oder nur solches von hoher Temperatur vorhanden, so müssen Kohlensäuremaschinen im allgemeinen ausscheiden, wenn nicht Tiefkälte gebraucht wird. Ihr Wirkungsgrad geht angesichts der geringen Verdampfungswärme der Kohlensäure bei warmem Kühlwasser so herunter, daß man sehr große Anlagen wählen müßte, um die erforderliche Kältemenge aufzubringen. Statt dessen erfüllen Ammoniakmaschinen besser ihren Zweck. Bei der fast 9mal so großen Verdampfungswärme des Ammoniaks spielt der Verlust an innerer Energie beim Vernichten der Flüssigkeitswärme nicht dieselbe Rolle wie bei der Kohlensäure, wenn natürlich auch hier der Kraftbedarf entsprechend steigt.

Weiter ist wesentlich, einmal die genaue Tiefe festzustellen, bis zu der gefroren werden muß, dann aber auch, welche Schichten in Frage kommen. Hier ist Leitungsfähigkeit und spezifische Wärme der verschiedenen Gebirgsarten zu berücksichtigen. Bei dieser Gelegenheit möchte ich auf eine irrige Ansicht hinweisen, die viel verbreitet ist. Man sagt häufig, Ton friere schlecht, Sand dagegen sehr gut. Das ist in dieser scharfen Form nicht richtig. Sand hat mit Ton fast die gleiche spezifische Wärme, aber die Leitungsfähigkeit des Tons ist ungefähr 20mal so groß wie die von Sand; mit andern Worten, Ton friert gerade so schnell wie Sand, er hält aber die Wärme nicht, sondern leitet sie weiter, so daß eine zuverlässige Frostmauer schneller in Sandschichten entsteht.

Einfluß der Schichten auf die Frostbildung.

Feststellungen, wonach der weiche Kern des Frostkörpers in tonigen Schichten kleiner war als in Sandschichten, bestätigen dies nur. Sobald die Frostmauer geschlossen ist, wird die Kälte im Ton schneller nach dem Innern geleitet, und der weiche Kern ist an dieser Stelle kleiner, daraus darf aber nun umgekehrt nicht geschlossen werden, daß Ton besser friert als Sand; die mittlere Temperatur der gefrorenen Massen wird dagegen erheblich höher sein als im Sande.

Bei der Untersuchung der Gebirgsschichten während des Bohrens ist natürlich darauf zu achten, ob Solen und Laugen vorhanden sind. Wie notwendig solche Untersuchungen sind und das Ergebnis unter Umständen einen ganzen Schachtbauplan umwerfen kann, beweist der Abteufversuch der Rheinischen Stahlwerke bei Rheinberg am Niederrhein. Man stellte im Laufe der Gefrierbohrungen fest, daß man auf einem Salzhorst saß und der Schacht mit dem normalen Gefrierverfahren nicht herunterzubringen war. Da das Tiefkälteverfahren damals noch nicht angewandt wurde, mußte der Schacht aufgegeben werden.

Aber auch ein Salzgehalt im Gebirgswasser von nur 2 bis 3 vH darf durchaus nicht auf die leichte Achsel genommen werden, wie man das früher getan hat. Ich schreibe einem derartigen solehaltigen Gebirgswasser z. B. das Ersaufen eines Schachtes der Deutschen Solvaywerke bei Wallach am Niederrhein zu, in dem bei 463 m nach rd. 2jährigem Frieren durch den Stoß Wasser und Sand mit rd. 70 m³/min einbrachen und 8 Bergleute auf der Sohle begruben. Der Unfall läßt sich aus dem Verhalten von schwach salzhaltigem Wasser erklären, das in einem geschlossenen Behälter ausgefroren wird. Um die Kältequelle herum bildet sich nämlich zunächst fast reines Süßwassereis, während die übrigbleibende Flüssigkeit den Salzgehalt dieses erstarrten Süßwassers aufnimmt und sich entsprechend anreichert. Die Salzaufnahme schreitet mit der Fortdauer des Kühlvorganges weiter vor, bis schließlich in dem Behälter gesättigte flüssige Sole vorhanden ist, wenn die Temperatur nicht bis zum Gefrierpunkt der Sole erniedrigt wird.

Es kann nun beim Frieren der Gebirgsschichten leicht vorkommen, daß sich ein geschlossener Frostzylinder bildet und ungefrorene Gebirgswasser zwischen zwei wassertragenden Schichten eingeschlossen sind, die nach keiner Seite hin ausweichen können. Diese Verhältnisse lagen in Wallach vor, denn hier waren im Buntsandstein über und unter der Durchbruchstelle zwei undurchlässige Tonschichten vorhanden. Das durch den fortschreitenden Frost unter Druck gebrachte und mit Salz angereicherte Wasser konnte auch nicht durch ein in der Mitte befindliches Bohrloch nach oben entweichen und verhinderte dadurch ein gleichmäßiges Wachsen der Frostmauer nach dem Schachtinnern zu. Infolgedessen entstand wahrscheinlich hier eine schwache Stelle in der Frostmauer, die, beim Abteufen freigelegt, den Durchbruch herbeiführte.

Ähnliche Verhältnisse treten auf, wenn man sehr klüftiges Gebirge auszufrieren hat. Ich habe in meiner Praxis wiederholt die Erfahrung gemacht, daß solche Klüfte, die man selbst mit einer starken Tiefkälteanlage nicht ausfrieren konnte, das Ersaufen des Schachtes herbeiführten und ein ungestörtes Abteufen erst möglich war, nachdem man die Klüfte angebohrt und mit Sand und Zement verfüllt hatte.

Nur der Eigentümlichkeit halber sei hier erwähnt, daß bei Inangriffnahme eines Gefrierschachtes auch darüber Klarheit herrschen muß, ob in nächster Nähe des Schachtes etwa Tiefbohrlöcher vorhanden sind. Im allgemeinen weiß der Bergwerksbesitzer ja Bescheid darüber, ob und welche Bohrungen in seiner Gerechtsame niedergebracht sind.

Indes ist mir ein Fall vorgekommen, wo der Schacht auf einem Untersuchungsbohrloch angesetzt wurde, das bis auf einige Meter im Salz trocken niedergebracht worden war, während wenige Meter vom Schacht entfernt, ohne daß der Unternehmer davon wußte, sich ein Tiefbohrloch von rd. 900 m befand, auf welchem der Schacht eigentlich und zwar mit Recht hatte abgeteuft werden sollen. Diese Arbeit brachte denn auch das Höchstmaß an Unfällen; der Schacht ist während des Abteufens dreimal ersoffen und ersoff zum vierten Mal, als er 30 m im Salz stand und mit Tübbings ausgebaut war, wobei die letzten 25 m im Frostfreien geteuft und die Tübbings zuverlässig mit Magnesiazement vergossen worden waren. Nach jahrelangem Prozessieren kam man endlich dahinter, daß ein paar Meter vom Schacht entfernt das erwähnte Tiefbohrloch von 900 m stand, das, obwohl angeblich verdichtet, zweifellos immer aufs neue die Deckgebirgswasser dem Schachte zuführte.

Erforderliche Dicke der Frostmauer.

Wenn nun aus dem bisher Gesagten hervorgeht, daß man hinsichtlich der Kälteerzeugung früher vorhandene Lücken hat beseitigen können, so ist es in den verflossenen Jahren aber nicht gelungen, einwandfreie Unterlagen zu schaffen, um rechnerisch den Kältebedarf bei einem Gefrierschacht zu ermitteln.

Hierfür ist es in erster Linie notwendig, festzustellen, wie stark die Frostmauer sein muß, die beim Abteufen den Gebirgsdruck aufzunehmen hat. Weiterhin kommen die Verluste in Frage, die durch Leitung und Strahlung entstehen. Aber schon die Berechnung der Frostmauer stößt auf Schwierigkeiten. Wohl sind in einer Reihe von Aufsätzen alle möglichen Formeln aufgestellt worden, die alle das eine gemeinsam haben, daß zu ihrer Ableitung Voraussetzungen zugrunde gelegt werden mußten, über die gar keine Klarheit herrscht. Manche Verfasser kamen zu dem trostlosen Schluß, daß von einer gewissen Teufe ab die

Frostmauer unendlich dick werden müßte, wenn sie dem Gebirgsdruck standhalten sollte. Aber schon überholte die Praxis die Formel und überwand die betreffende Teufe ohne alle Schwierigkeit.

Es ist mir natürlich unmöglich, mich hier mit diesen vielen Versuchen, die Berechnung der Frostmauer in Formeln zu bringen, auseinanderzusetzen, nur möchte ich betonen, daß man bei solchen Berechnungen von vornherein davon absehen muß, Festigkeitsformeln, die sich für Eisen und ähnliche Baustoffe bewährt haben, auf gefrorenes Gebirge anzuwenden. Ebenso ist es verfehlt, mit einer völligen Kreisform der Frostmauer zu rechnen, noch weniger mit einer gleichmäßigen Festigkeit innerhalb eines Querschnittes in irgend einer Teufe. Auch Formeln über den Erddruck, wie sie sich bei Bauwerken von geringer Teufe als richtig erwiesen haben, können für die Berechnungen nicht als Grundlage gewählt werden. Schon allein diese unsicheren Umstände werden niemals eine auch nur annähernd genaue Berechnung der Frostmauer zulassen.

Von den vielfach vorgenommenen Festigkeitsversuchen mit gefrorenem Material können nur die wenigsten Anspruch auf Zuverlässigkeit machen. Daß Prüfungen mit Gebirge, das bei — 100 °C ausgefroren ist, nicht bei der gleichen Temperatur vorgenommen werden können, ist einleuchtend. Da sie aber meistens bei Tagestemperaturen gemacht sind, können sie Anspruch auf Zuverlässigkeit nicht machen. Die einzigen mir bekannten Festigkeitsversuche mit gefrorenem Material, die nach dieser Richtung hin einwandfrei stattgefunden haben, hat seinerzeit die Bauinspektion Emden im Hinblick auf etwaiges Ausfrieren des Bodens für eine große Seeschleuse bei Emden ausführen lassen; sie sind bei derselben Temperatur vorgenommen worden, mit der die Versuchskörper ausgefroren waren, d. h. Festigkeitsmaschinen, ausübende Mannschaft usw. befanden sich gemeinsam in einem isolierten und künstlich tiefgekühlten Raum.

Die hierbei festgestellte Druckfestigkeit, die je nach Bodenart und bei — 20 °C zwischen 50 und 185 kg/cm² schwankte, kann schon deshalb ohne Bedenken bei etwaigen Berechnungen zugrunde gelegt werden, weil eines bei all diesen Untersuchungen außer Acht gelassen worden ist. Niemals ist nämlich Material, wie es zusammenhängend im Gebirge ausgefroren war, geprüft worden, sondern stets nur die eine oder andere Gebirgsart mehr oder weniger künstlich mit einer anderen gemischt. Zweifellos würden Versuche mit gewachsenem Material noch günstigere Ergebnisse zeitigen.

Bei sämtlichen Frostmauer-Berechnungen hat man auch die Standfestigkeit des freigelegten Gebirgsstoßes, die ich das Beharrungsvermögen des Gebirges nennen möchte, außer Acht gelassen. Wenn man beim Gefrierschachtbau diesen Umstand nicht in Rechnung stellen könnte, dann würden sicher niemals Teufen von 600 m bei Gefrierschächten erreicht worden sein.

Der Altmeister im Schachtabteufen, Hr. Riemer von Haniel & Lueg hat früher einmal geäußert, das Gefrierverfahren wäre deshalb auf eine gewisse Teufe beschränkt, weil Eis und gefrorenes Gebirge so elastisch seien, daß der äußere Gebirgsdruck die Stöße wie Gummi hereinbiegen und ein Abteufen unmöglich machen würde. Man ist nun weit tiefer mit dem Gefrierverfahren gekommen, als Riemer vermutete, und doch kann ich aus meinen Erfahrungen grundsätzlich seine Ansicht nur bestätigen. Würde man bei großer Teufe einen Gefrierschacht längere Zeit unverbaut stehen lassen, so würden zweifellos allmählich die Stöße hereinkommen. Dem ist nur dadurch zu begegnen, daß man den Stoß schnell und zuverlässig verbaut, bevor sich der äußere Druck auswirken kann.

Durch Berechnen von Frostmauern die Größe einer Gefrieranlage für einen Schacht bestimmen zu wollen, ist also vorläufig noch eine recht unsichere Unterlage. Diesbezüglich wird es wohl wie bisher reine Erfahrungssache der ausführenden Gesellschaften bleiben, welche Größen sie für bestimmte Teufen-Durchmesser und Gebirge wählen. Etwas anderes ist es, sich über Abgabe von Kälte an das Gebirge, ihre Wirkung nach außen hin und während ihres Weges im Fall- und Steigrohr durch Rechnung Klarheit zu verschaffen. Hier steckt man tatsächlich noch in den Kinderschuhen, und es wird der eingehenden Zusammenarbeit von Theorie und Praxis bedürfen, um wünschenswerte Fortschritte auf diesem Gebiete zu erreichen.

Noch 1910 auf dem Internationalen Kongreß für Bergbau, Hüttenwesen und angewandte Mechanik in Düsseldorf war man der Ansicht, daß sich die Frostmauer nach unten verdicke und die untere Kurve des gefrorenen Gebirgskörpers in der Form eines Flaschenbodens verliefe. Das mag vielleicht zutreffen bei Schächten von geringer Teufe. Bei tiefen Schächten ist erkannt worden, daß die Kälte sich durchaus anders verteilt.

Kälteverteilung.

Diese Frage ist so außerordentlich wichtig, daß ich sie an Hand der Erfahrungen der letzten Jahre ausführlich behandeln möchte. Wie schon früher bemerkt, wird die kalte Lauge durch ein sogenanntes Fallrohr auf den Boden des Gefrierrohres geleitet, um hier in die Höhe zu steigen und ihre Kälte an das Gebirge abzugeben. Voraussetzung für das gleichmäßige Wachsen der Frostmauer ist natürlich, daß überall Lauge von gleicher Menge und Temperatur durch die Gefrierrohre hindurchfließt, wenn nicht besondere Gründe vorliegen, einem bestimmten Rohre vorzugsweise Kälte zuzuführen. Um deshalb eine Überwachung ausüben zu können, schaltet man einen sogenannten Temperaturstutzen in den Kopf des Gefrierrohres ein und mißt an dieser Stelle regelmäßig die Laugeneintritt- und -austrittemperatur. Arbeitet nun einmal ein Rohr besser und schneller als ein anderes, so ist man häufig auf Grund dieser Messung in der Lage, einzugreifen, und zwar durch entsprechendes Drosseln des Ventils, das an jedem Gefrierrohrkopf den Zu- und Ablauf regelt.

Durch Temperaturmessung allein kann man aber nicht immer feststellen, ob ein Rohr in Ordnung ist, d. h. ob gleichmäßig viel Lauge von bestimmter Temperatur hindurchläuft. Es kann z. B. vorkommen, daß trotz Siebvorrichtungen, welche die Lauge vor ihrem Eintritt in den Verteilungsring durchfließen muß, Sinter und Unreinigkeiten der Lauge sich allmählich unten absetzen und den Umlauf hemmen. Es ist auch mehr als einmal vorgekommen, daß das freihängende Fallrohr an irgendeiner schwachen Stelle abriß und dadurch die Lauge nicht bis zum Gefrierrohr-Tiefsten geführt und die untere Gebirgspartie überhaupt nicht gekühlt wurde.

Um daher genau über den Umlauf im Klaren zu sein, ist bezüglich Rückleitung der Lauge von den Steigrohren zum Refrigerator unbedingt das Vorgehen von Haniel & Lueg vorzuziehen, nämlich die Lauge aus dem Steigerohr frei in ein Gefluter ausfließen zu lassen, um sie von da wieder nach dem Refrigerator zu führen. Der Kälteverlust wird dadurch zwar etwas größer, als wenn man einen geschlossenen Sammelring verwendet, der Betriebsführer kann sich aber an dem offenen Auslauf mit einem Blick überzeugen, ob die Gefrierrohre richtig arbeiten.

Daß die Arbeit der Pumpe dadurch ebenfalls erheblich erleichtert wird, brauche ich wohl kaum hervorzuheben. Alle diese Schwierigkeiten treten erst besonders in die Erscheinung, wo es sich um sehr tiefe Schächte handelt. Während man z. B. bei einem 100 m-Schacht mit einem Druck der Laugenpumpe von 2½ bis 3 at auskommt, steigert sich dieser bei Schächten von etwa 500 m auf 12 bis 13 at. Unnötige Reibungsarbeiten zu verhindern, liegt also jeder Anlaß vor.

Dies veranlaßte mich, auch bei tiefen Schächten mit der Anwendung der sogenannten elastischen Verbindungen besonders wegen der dadurch bedingten Verengerung des Rohrquerschnittes zu brechen. Bei Vorhandensein verschiedenartiger und wechsellagernder Gebirgsschichten glaubte man früher, der Fall könne eintreten, daß an zwei verschiedenen Stellen das Gefrierrohr fest mit dem Gebirge zusammenfröre, während der dazwischen liegende Teil noch frei beweglich wäre und sich bei weiterer Abkühlung so zusammenziehen könne, daß ein Rohrbruch eintreten müßte. Abgesehen davon, daß die Elastizität des Eisens groß genug ist, um diese Belastung ohne weiteres aufzunehmen, war aber auch nach Einführung der Dickspülung beim Bohren der Grund beseitigt, der bei Verwendung dieser Verbindung maßgebend gewesen war, da sich durch Setzen der Dickspülung ein mehr oder weniger starker Tonring um die Gefrierröhre herumlegte, diese also in gleichmäßiges Material gebettet wurden. Durch Wegfall dieser elastischen Verbindung ist die Reibungsarbeit der Lauge vermindert, eine vergrößerte Gefahr, daß die Gefrierrohre reißen, aber niemals festgestellt worden. Heute sieht man allgemein von der Verwendung elastischer Verbindungen ab.

Auch die Art der bisher gebräuchlichen Fall- und Gefrierrohre, von denen die ersteren als innen glatte Rohre mit äußerer Muffe, die letzteren als außen glatte Rohre mit einem Nippel gebraucht werden, entspricht nicht den Anforderungen an ein möglichst reibungsloses Arbeiten der Lauge. Hier kann nur allmählich Änderung und Abhilfe eintreten, weil wirtschaftliche Gründe einen schroffen Wechsel in der Verwendung anderer Rohre als der bisher gebräuchlichen verbieten.

Was die Kälteverteilung bzw. Abgabe der Kälte der aufsteigenden Lauge an das Gebirge angeht, so stand man noch um 1911 allgemein auf dem Standpunkt, die Lauge würde mit der niedrigsten Temperatur am Boden des Gefrierrohres aus dem Fallrohr austreten, dann nach und nach ihre Kälte an das Gebirge abgeben und oben durch den Sammelring mit der entsprechend höheren Temperatur wieder zum Refrigerator zurück-

laufen. Als indes bei einem Schacht von 427 m Teufe, bei dem fast 400 m Schwimmsand auszufrieren waren, das Steigen der Schachtwasser, wodurch die Bildung der geschlossenen Frostmauer angezeigt wird, über die Gebühr auf sich warten ließ, entschloß ich mich seinerzeit dazu, systematisch eine Messung der Laugentemperatur im Steigerohr vorzunehmen. Dies konnte natürlich erst geschehen, nachdem das Fallrohr gezogen war. Es war anzunehmen, daß die Temperatur in den einzelnen Zonen der Lauge ungefähr die Gebirgstemperaturen in nächster Nähe des Gefrierrohres angeben würden: Ein Ausgleich der Laugentemperaturen im Gefrierrohr durch Wandern der einzelnen Schichten setzte man nicht voraus, da die kalten Schichten ja unten vorhanden sein mußten. Die Messungen wurden sehr zuverlässig mit einer sogenannten Meßbombe ausgeführt, in deren oberem Teile sich ein Thermometer befand, das durch Isolierung so gegen die Einwirkung der Lauge beim Hinablassen geschützt war, daß es sich erst, wie vorher durch Versuche ermittelt, nach etwa 12 h auf die äußere Temperatur einstellte. Weiter unten wurden in drei verschiedenen Höhen Reagenzgläser untergebracht, die mit verschieden starken Salzlösungen gefüllt waren, deren Erstarrungstemperatur man vorher genau festgestellt hatte. Beim Herausnehmen der Meßbombe bestand nun die Überwachung der tiefsten Temperatur des Thermometers darin, daß man feststellte, welche von den Salzlösungen ausgefroren war. Die Messungen im Gefrierschacht Carolus Magnus, die bei etwa 400 m, 350 m, 300 m, 250 m und 200 m vorgenommen wurden, hatten das merkwürdige Ergebnis, daß nicht im Bohrlochtiefsten die kälteste Lauge vorhanden war, sondern in der oberen Hälfte des Gefrierrohres. Am Fuß des Gefrierrohres herrschte entgegen allen bisherigen Annahmen trotz einer Temperatur der am Kopf des Gefrierrohres eintretenden Lauge von — 23 °C nach monatelangem Frieren nur eine Temperatur von — 5 °C. Weiter nach oben hin erwärmte sich die aufsteigende Lauge infolge der warmen Gebirgsschichten wieder und erst von 300 m wurde die Temperatur im Steigerohr nach oben zu niedriger.

Diese Messungen wurden späterhin mit einem eigens zu diesem Zweck gebauten Temperaturmeßgerät, Abb. 13, das die Temperaturen in den verschiedenen Zonen selbsttätig aufzeichnete, überwacht und dasselbe Ergebnis festgestellt. Bei dem in Abb. 13 dargestellten Gerät wird der Einfluß der Laugentemperatur auf eine in einem Metallbehälter *a* befindliche Flüssigkeit — Alkohol — benutzt, um mittels einer Membran *b* das Zusammenziehen oder die Ausdehnung dieser Flüssigkeit auf ein Gestänge *c* zu übertragen. Der an diesem Gestänge befestigte Schreibstift *d* verzeichnet die Bewegung des Gestänges auf einer durch ein Uhrwerk *e* bewegten Schreibtrommel *f*.

Leider war man allzu lange in der alten Anschauung befangen gewesen, sonst hätte man sich bei näherer Überlegung schon eher sagen müssen, daß auf dem 400 m langen Wege zum Bohrlochtiefsten das immer wärmer werdende Gebirge auch auf die nach unten strömende Lauge einwirken müsse.

Die Kälteverteilung wird sich bei tiefen Schächten so gestalten: Bei der immerhin großen Geschwindigkeit der einströmenden Lauge wird diese nach kurzer Gefrierzeit mit einer Temperatur unter 0 °C am Boden des Gefrierrohres austreten. Die hohe Gebirgswärme wird aber sofort der Kälte entgegenwirken und die aufsteigende Lauge schon in der Nähe des Bodens auf 0 °C steigen, um sich dann nach oben hin weiter zu erwärmen und infolge des Einflusses der nach unten strömenden, aber nach oben hin immer kälter werdenden Lauge des Fallrohres allmählich wieder unter 0 ° sinken. Diese Zonen verschieben sich im Laufe der Zeit, bis allmählich überall eine Temperatur unter 0 ° C herrscht. Die Lage wird aber schließlich ständig so bleiben, daß für den unteren Teil am Boden des Gefrierrohres die kälteste Temperatur vorhanden ist, diese dann beim Heraufsteigen der Lauge allmählich höher wird, um von einer gewissen Teufe an wieder zu fallen und beim Austritt aus dem Gefrierrohr sich dann nur um wenige Grad von der einströmenden Lauge zu unterscheiden.

Daß ein großer Teil der Kälte verbraucht wird, bevor die Lauge am Boden des Gefrierrohres austritt, ist auch durch Messungen in Borth und Wallach, also bei Schächten von 500 und 540 m festgestellt worden. In Borth hatte man nach zweijährigem Frieren im Gebirge nur eine Temperatur von — 12 °C bei 450 m ermittelt, obwohl die Lauge mit — 32 °C in das Fallrohr über Tage einströmte. In Wallach war gleichfalls bei 463 m nach zwei Jahren nur eine Gebirgstemperatur von — 10 °C festgestellt worden, obwohl der Laugeneintritt mit — 30 ° erfolgte.

Sehr zu begrüßen ist es, daß sich die Theorie mit dieser Frage eingehend befaßt hat. Ich verweise diesbezüglich auf die dankenswerten Aufsätze von Professor H e i s e und D r e h k o p f in der Zeitschrift Glückauf[1]). Es ist bei dieser Frage auch viel leichter, rechnerisch zu einem richtigen Ergebnis zu kommen als bei dem Versuch, die Dicke der Frostmauer zu berechnen.

Nur ist es auch hier dringend notwendig, daß Theorie und Praxis Hand in Hand arbeiten. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle auf die genannten Aufsätze näher einzugehen. Ich möchte nur einige grundlegende Richtlinien, die bei der Kälteverteilung für Gefrierschächte eingehalten werden müssen, festlegen.

Entsprechend der nach unten sich steigernden Gebirgswärme ist danach zu streben, daß man die Lauge möglichst ohne Kälteverlust bis auf den Boden des Gefrierrohres bringt. Man muß hierbei berücksichtigen, daß es nicht genügt, das Gebirge einfach in den festen Aggregatzustand überzuführen, sondern man muß auch, je tiefer man kommt, im Hinblick auf den sich steigernden Gebirgsdruck und die höhere Gebirgswärme eine Frostmauer von größerer Kälte und Dicke zu erhalten suchen als oben. Schon allein die tiefere Kälte schafft bei sonst gleichen Abmessungen eine zuverlässigere Frostmauer, da gefrorenes Gebirge von niedriger Temperatur eine höhere spezifische Festigkeit zeigt als solches von höherer Temperatur. Daher ist das Streben, die in der Gefrieranlage erzeugte Kälte gleichmäßig auf die ganze Teufe verteilt durch die Steigrohre an das Gebirge zu überführen, zu verwerfen.

Abb. 13. Temperaturmeßgerät.

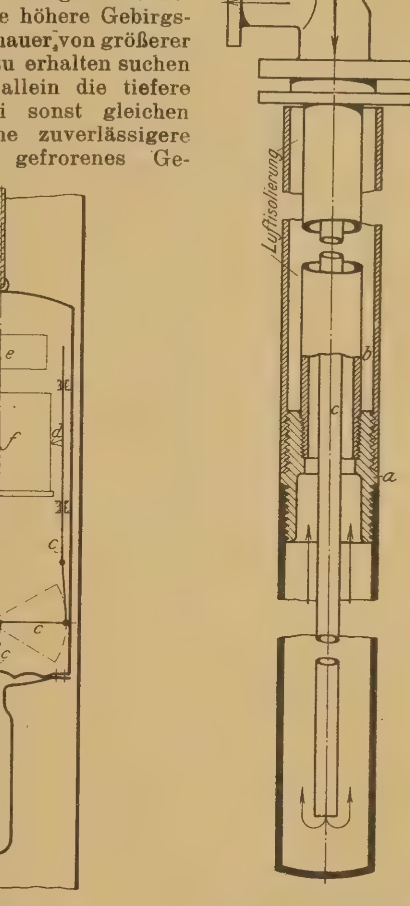


Abb. 14. Gefrierrohr mit Doppelnippel.

Das gute Arbeiten der Rohre ist dauernd zu überwachen und möglichst eine selbsttätige Temperaturmessung des Frostfortschrittes auf der ganzen Höhe des Gefrierrohres in bestimmten Zeitabständen vorzunehmen. Wo tiefe Temperaturen z. B. zum Ausfrieren von solehaltigem Gebirge in Teufen von etwa 350 m an notwendig sind, muß ein

G e f r i e r e n i n A b s ä t z e n

eintreten, denn nach den bisherigen Erfahrungen und bei den jetzigen Hilfsmitteln ist es nicht möglich, Lauge mit einer Temperatur von etwa — 40 °C in zwei bis drei Jahren bis in die genannten Teufen zu bringen.

Man hat nun verschiedene Mittel angewandt, um obiger Forderung gerecht zu werden, die kalte Lauge möglichst ohne Verlust in das Tiefste zu bringen. Als älteste Vorrichtung ist wohl die doppelte Steigerohrtour mit dem sogenannten Doppelnippel anzusehen, die vorzugsweise von Gebhardt & Koenig angewandt wird, Abb. 14. Man baut hierbei die normale Gefrier-

[1] Bd. 57 (1921 S. 553, Bd. 58 (1922) S. 129, Bd. 59 (1923) S. 1

rohrtour wie gewöhnlich ein, schaltet aber an der Stelle, von der ab vorzugsweise bis zur Endteufe die Hauptkälteabgabe erfolgen soll, anstatt des gewöhnlichen Nippels einen Doppelnippel *a* mit größerer Wanddicke ein, der in der Mitte mit einem Gewinde zur Aufnahme einer zweiten Steigrohrtour *b* innerhalb des Gefrierrohres dient. In diese Rohrtour wird die Fallrohrtour *c* eingebaut. Infolge des inneren Steigrohres befindet sich vom Doppelnippel ab aufwärts zwischen dem inneren und äußeren Steigerohr eine ruhende Luftschicht, die isolierend wirkt und eine Kälteabgabe des inneren Rohres an das Gebirge praktisch auf ein Mindestmaß verringert. Die Mängel dieses Systems bestehen darin, daß es erstens außerordentlich schwierig ist, die lange innere Steigerohrtour zuverlässig dicht in den Doppelnippel einzuschrauben, zweitens fast unmöglich ist, festzustellen, ob durch die Verbindung mit dem Doppelnippel oder andere undichte Stellen sich der Zwischenraum nicht allmählich mit Lauge füllt und so die Isolierung der inneren Rohrtour hinfällig macht. Auf die Dauer muß hiermit wohl gerechnet werden.

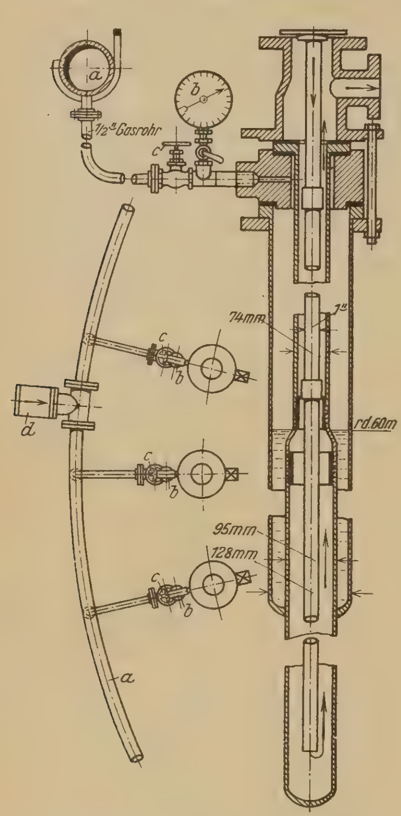


Abb. 15 und 16. Einbau der Ersatzgefrierrohre und Verbindung mit dem Preßluftring.
a Preßluftring, *b* Manometer, *c* Ventile, *d* Hauptabsperrventil.

Ein zweites Verfahren hatten Haniel & Lueg angewandt, das sogenannte Frieren in Absätzen. Hierbei wurde das Fallrohr nicht unmittelbar bis zum Boden des Gefrierrohres eingehängt, sondern erst je nach der Teufe etwa auf $^1/_3$ der Teufe von oben. Es ist verständlich, daß die Lauge im unteren Teil am Umlauf kaum Teil nahm und die oberen Gebirgsschichten entsprechend schneller ausgefroren wurden. Voraussetzung für das Gelingen des Abteufens des zunächst abgefrorenen Teils des Schachtes ist natürlich, das wassertragende Schichten die Wasser des unteren Teils abschließen. Nach Ausfrieren des ersten Teiles werden dann die Fallrohre entweder unmittelbar auf Teufe eingehängt, oder dies Teilfrieren nochmals wiederholt. Für große Teufen ist dieses Verfahren kaum geeignet, besonders wenn es sich um das Ausfrieren von durchweg wasserführenden Schichten handelt. Es dürfte eben nur für Sonderfälle Bedeutung haben.

Der Luft als Isoliermittel hat man sich noch bei zwei weiteren Verfahren bedient. Das eine sah wiederum das Einhängen einer dritten Rohrtour vor, durch die das Fallrohr bis zum Gefrierrohrboden durchgeführt wurde. Dadurch, daß man den Ringraum zwischen äußerem und innerem Gefrierrohr über Tage luftdicht abschloß und die Lauge durch das innere Gefrierrohr austreten ließ, wurde der Luftraum zwischen äußerem und innerem Gefrierrohr entsprechend der Höhe des letzteren zusammengepreßt, während sich im unteren Teil des Ringraumes eine still stehende Lauge ansammelte, die natürlich nicht dieselbe Kälte abgab wie eine fließende Lauge, aber immerhin eine Verbindung mit dem Gebirge ohne Isolierung herstellte.

Um diesen Übelstand zu beseitigen, habe ich seinerzeit bei dem Schacht Carl Alexander, als es sich darum handelte, nur den unteren Teil des ersoffenen und mit Tübbings ausgebauten Schachtes nochmals zu frieren, den Ringraum zwischen äußerem und innerem Gefrierrohr unter Luftdruck von entsprechender Höhe gesetzt — es waren etwa 8 bis 10 at, s. Abb. 15 und 16. Die ursprünglichen Gefrierrohre waren bei einem Wassereinbruch in den Schacht undicht geworden; außerdem hatte es sich herausgestellt, daß das Gebirge tiefer ausgefroren werden mußte. Man durchbohrte deshalb den Boden der Gefrierrohre und setzte eine zweite Gefrierrohrtour ein. Da ein Frieren des oberen, bis 60 m unter Tage reichenden Schachtteiles aber nicht nötig war, wurde durch eine Druckluftleitung das in das ursprüngliche Gefrierrohr eingedrungene Wasser bis 60 m herausgedrückt und so eine zuverlässige Luftisolierung hergestellt. Dies scheint mir bisher das einzige, billigste und sicherste Mittel zu sein, um eine dauernde Isolierung aufrecht zu erhalten.

Im Krieg ist noch mit einer anderen Neuerung ein Versuch gemacht worden, der gute Erfolge zeitigte; die Durchführung verursacht aber derartige Kosten, daß gerade in den heutigen Zeiten davon abgesehen werden muß. Um die in den Fallrohren niederströmende Lauge der Beeinflussung der warmen, nach oben fließenden zu entziehen, hat man nämlich die Fallrohre mit einem zweiten Rohr umgeben, das an beiden Enden mit dem Fallrohre zuverlässig zugeschweißt war. Distanzringe in einiger Entfernung voneinander, die auf dem Fallrohr aufgezogen waren, sorgten dafür, daß das äußere Rohr seine zentrische Lage zu dem inneren beibehielt. Der allerdings nur geringe Luftraum zwischen den beiden Rohren genügte bei der hervorragenden Isolierfähigkeit der ruhenden Luft vollkommen, um in kurzer Zeit die Temperatur der ausströmenden Lauge merklich zu erhöhen.

Besser ist es selbstverständlich, wenn eine Isolierung der Rohre (um diese wird es sich immer handeln) ständig überwacht werden kann. Das ist aber nur beim Gefrieren in Absätzen möglich, wie dies bei den beiden Schächten Borth ausgeführt worden ist. Ich möchte hier gleich bemerken, daß bei Teufen bis 500 bis 600 m dies Verfahren natürlich nur dann Anwendung finden müßte, wenn solehaltiges Gebirge auszufrieren und zu durchteufen ist.

Die Arbeiten in Borth haben bewiesen, daß es möglich ist, durch geeignete Maßnahme wie Ausfrieren eines Sandpfropfens auf dem Boden des Schachtes das Wasser aus diesem zu sümpfen, nachdem die Löcher für den unteren Teil gebohrt und mit Gefrierrohren besetzt, aber noch nicht in Gefrierbetrieb sind, obwohl der ganze Schachtboden unter dem Druck der unteren Gebirgswasser — bei Borth rd. 33 at — steht.

Dann ist man in der Lage, sowohl die Standrohre als auch die Gefrierrohre auf ihre Dichtigkeit zu prüfen, die ersteren durch Augenschein, die Gefrierrohre dadurch, daß man durch Öffnen eines Ventils, das am Fuß der Standrohre angebracht ist, feststellt, ob sich im Zwischenraum zwischen Standrohr und Gefrierrohr Lauge aus Undichtigkeiten des Gefrierrohres angesammelt hat. Gegebenenfalls kann man nach Ausbau der Standrohre das undichte Gefrierrohr dichten oder auswechseln. Infolge der ruhenden Luftschicht zwischen Stand- und Gefrierrohr gibt die Lauge praktisch erst Kälte ab, wenn sie in den unteren Schachtteil eintritt, der mit tiefer Temperatur versorgt werden soll. Wird dieser Teil aber in Betrieb genommen, so ist es erforderlich, das Vorgehen von Haniel & Lueg nachzuahmen und den unteren Schachtteil vorsichtig absatzweise auszufrieren, indem man die Fallrohre erst ein Stück in den unteren Teil der Gefrierrohre einhängt und sie erst nach und nach verlängert. Man läuft sonst Gefahr, daß die aufsteigende warme Lauge den ausgefrorenen Sandklotz am Schachtboden auftaut und so ein Ersaufen des Schachtes herbeiführt.

Vorschläge, wie sie z. B. Professor Heise in seinen Aufsätzen macht, anstatt einfacher Fallrohre U-förmige, gebogene einzuhängen und in den Gefrierrohren ruhig stehende Lauge vorzusehen, die gleichmäßig ihre Kälte ans Gebirge abgeben könnte, sind nicht zu empfehlen. Einmal würden die Betriebseinrichtungen durch den Einbau von U-Rohren verwickelt, was unter allen Umständen vermieden werden muß, dann ist die Prüfung der Laugenverluste schwieriger, und letzten Endes wird der Hauptzweck, die kälteste Lauge gerade nach unten zu bringen, nicht erreicht.

Es ist auch daran festzuhalten, daß man die Geschwindigkeit der Lauge im Fallrohr hoch hält, um die Möglichkeit zu haben, sie mit der kältesten Temperatur schnell nach unten zu bringen. Gibt man der inneren Lauge nicht eine größere Geschwindigkeit als der im Steigerohr, so verliert die erstere auf ihrem Weg nach unten schon so viel Kälte, daß gerade das Gegenteil von dem erreicht wird, was ich für erstrebenswert halte.

Der ganze Fragenkreis der Kälteverteilung kann wissenschaftlich aber erst einwandfrei behandelt werden, wenn die Praxis dafür die nötigen Unterlagen schafft. Es wäre deshalb besonders wünschenswert, wenn Schachtbaufirmen und Auftraggeber bei neuen tiefen Schächten sich verbänden, um Klarheit darüber zu schaffen, wie der Kälteausgleich im Fall- und Steigerohr und die Abgabe der Kälte durch das Gefrierrohr an das Gebirge wirklich vor sich geht. Hierzu wäre erforderlich, daß im Ringraum zwischen Gefrier- und Fallrohr etwa alle 30 m elektrische Meßgeräte mit dem Fallrohr eingeführt würden, durch die man

dauernd eine genaue Überwachung über den Fortgang des Gefriervorganges erhält. Da die elektrische Leitung wohl nur eine Zeitlang ihre Isolierung behalten würde, müßte nach einem gewissen Zeitraum dieselbe Einrichtung in einem anderen Rohre eingebaut werden und so fort, bis der Beharrungszustand der Kälteabgabe erreicht wäre. Dieselbe Einrichtung im Fallrohr unterzubringen, wäre ja wesentlich schwieriger, aber wohl auch zu ermöglichen. Zur Überwachung und zum Vergleich mit den Temperaturen im Ringraum wäre auch diese Feststellung zu erstreben.

Damit Hand in Hand gehen müßten systematische Untersuchungen des Frostkörpers während des Abteufens. Durch die Lotungsergebnisse ist man genau über den Stand der Gefrierrohre unterrichtet. Es müßte also ein leichtes sein, nach Anbohren der Tübbingssäule ein Temperatur-Meßloch vom Stoß bis zum Rohr zu bohren und in diesem die in den einzelnen Entfernungen des Rohres vom Stoß vorhandenen Temperaturen festzustellen. Da hierbei durchaus keine Gefahr für den Schacht besteht, kann kein Auftraggeber ernstliche Einsprüche gegen diese Untersuchungen haben, die ein klares und einwandfreies Licht auf die ganze Frage werfen würden.

Ich bin mir wohl bewußt, daß die ausführenden Gesellschaften mit der Veröffentlichung derartiger Untersuchungen ihren bisherigen Standpunkt verlassen müßten, ihre mit schweren Opfern auf diesem Sondergebiet erworbenen Erfahrungen der wissenschaftlichen Untersuchung preiszugeben, allein die immer schwieriger werdenden Aufgaben, die an sie im Laufe der Zeit herantreten werden, machen es erforderlich, rechtzeitig solche Erfahrungen und Feststellungen wissenschaftlich auszuwerten und das Gefrierverfahren selbst dadurch zu fördern.

Es verbleiben den Firmen auf dem ganzen Gebiet noch so viel Erfahrungen, die nur durch langjährige Arbeit in dieser Industrie zu sammeln sind, daß ihre Interessen durch Bekanntgabe genannter Daten nicht gestört werden. Besonders ist dies bei dem dritten und letzten Abschnitt der Gesamtarbeit, dem Abteufen und Ausbau und dem Auftauen der Fall.

Feststellung über den Fortschritt der Frostmauerbildung.

Um sich zu unterrichten, ob sich die Frostmauer gebildet hat und Wasserzuflüsse vom Stoß oder der Sohle beim Abteufen zu befürchten sind, wird beim Niederbringen der Gefrierbohrlöcher auch ein Loch in der Schachtscheibe durch alle etwa vorhandenen wassertragenden Schichten gestoßen. Notwendig ist dies Bohrloch immer dann, wenn wassertragende Schichten überhaupt vorhanden sind. Andernfalls bilden sich unter diesen infolge Fortschreitens des Frostes nach geschlossener Frostmauerbildung innerhalb der letzteren Druckwasser, die nachher beim Anhauen der betreffenden Schichten durchbrechen und unangenehme Aufenthalte hervorrufen können. Um diesem Druckwasser freien Auslauf nach oben zu geben, muß man das Mittelbohrloch stets offen halten und seine Verrohrung muß durchlässig sein.

Der Grundwasserspiegel hebt sich nach geschlossener Frostmauerbildung durch das Verdrängen des Wassers innerhalb der Frostmauer diesem entsprechend; hat dieses Steigen eine Zeitlang regelmäßig angehalten, so kann man unbesorgt das Abteufen aufnehmen. Wenn der Vorschacht wasserdicht ausgekleidet, oder der Schacht etwa schon nach anderem Verfahren zum Teil abgeteuft und wasserdicht ausgebaut ist, so kann man die Prüfung der Frostmauer auch dadurch vornehmen, daß man durch Auffüllen von Wasser den Grundwasserspiegel künstlich erhöht und so einen inneren Überdruck schafft. Fließt das aufgefüllte Wasser nicht weg, so kann man sicher sein, daß die Frostmauer sich geschlossen hat.

Aufnahme des Abteufens.

Es liegt im Sinne eines schnellen Abteufens, damit nicht so lange zu warten, bis der Frost in den oberen Teilen allzuweit über den Stoß hinaus nach dem Schachtinnern zu vorgedrungen ist. Bei einem vorhandenen weichen Kern von der ungefähren Größe des Schachtdurchmessers lassen sich leicht bei 6 m Dmr. 6 bis 7 m Abteufleistung täglich in den oberen Teufen erreichen.

Durch einen sehr schweren Unglücksfall hat man auch hier neue Erfahrungen bezahlen müssen. Im Schacht I der Gewerkschaft Carolus Magnus in der Nähe von Aachen war man infolge einer bergpolizeilichen Bestimmung, vorläufigen Verzug beim Abteufen zu verwenden und wegen des großen Gefrierrohrkreises von rd. 13 m Dmr. in den oberen Teufen gezwungen, einen Teil des noch nicht ausgefrorenen Kernes, der weit größer war als der Schachtdurchmesser, beim Abteufen hinter dem Verzug stehen zu lassen. Erst bei 70 m war der ungefrorene Kern so klein geworden, daß er bis an den Schachtstoß heranreichte. Durch den Verzug trat nun eine Art Drainage des hinter ihm anstehenden nassen Sandes ein, er wurde nach und nach trockener und lief wahrscheinlich an einzelnen Stellen aus, wobei er Hohlräume hinter dem Verzug bildete. Die über diesen liegenden Sandteile konnten sich natürlich nur eine Zeitlang halten, stürzten zusammen, schlugen den Verzug durch und rissen den ganzen angebauten, nicht gefrorenen Sand mitsamt dem Verzug in die Tiefe. Die ganze Belegschaft der Sohle, elf Arbeiter, fand dabei ihren Tod.

Daraus ist unbedingt die Lehre zu ziehen, daß man

1. ungefrorenes Gebirge nicht stehen lassen und
2. einen dichten Verzug nicht verwenden darf.

Die ausführenden Firmen hatten sich schon früher dagegen verwahrt, Gefrierschächte mit ⊓-Eisenringen und Verzugsbrettern vorläufig auszubauen. Sie begründeten dies damit, daß jede Überwachung der Frostmauer, die dringend notwendig sei, dadurch unmöglich gemacht würde. Eine für ungestörtes Arbeiten und die Sicherheit der Belegschaft wichtige Feststellung, ob sich an irgendeiner Stelle nasse Flecke zeigen, könne bei dem dichten Verzug nicht gemacht werden. Diese nassen Stellen sind meistens ein Zeichen, daß irgendwo ein Rohr undicht geworden ist und die Lauge sich einen Ausweg nach dem Schachtinnern zu gesucht hat. Kann man nicht sorgen, daß dieser Fehler durch Abstellen des betreffenden Rohres bzw. Einbauen einer zweiten Rohrtour in das undichte Rohr beseitigt wird, so frißt sich die Lauge leicht auch nach außen hin durch, und der Durchbruch des Schachtstoßes ist mit Sicherheit zu erwarten.

Welche Leistungen bei ungestörtem Abteufen und großem weichen Kern erreicht werden können, beweist das Abfrieren der Schächte Friedrich Heinrich II und Borth II. Der erstere war mit 331 m in 9,6 Monaten abgeteuft und ausgebaut, bei Solvay geschah diese Arbeit bis 330 m in zwölf Monaten. Der Durchmesser des Schachtes betrug in beiden Fällen 6 m.

Im allgemeinen kann beim Weiterteufen in gefrorenem Gebirge ohne Gefahr geschossen werden, wenigstens bis etwa 300 m. Nur muß man, je größer die Teufe wird, immer vorsichtiger werden beim Besetzen der Strossen- und Stoßlöcher. Die schon oben erwähnte Ansicht Riemers, daß der Schacht wie Gummi in großen Teufen zusammengehen werde, hat sich seinerzeit ganz deutlich bei dem Abteufen von Borth II gezeigt. Dort ist der Schachtstoß bei etwa 250 m im Buntsandstein, nachdem ein Satz von etwa 25 m abgeteuft war, während des Einbaues der Tübbings im unteren Teil oben derart gewachsen, daß die Schwebebühne nicht mehr durchgefahren werden konnte. Die Schachtverengerung betrug etwa 1 m. Trotzdem waren nur vier Gefrierrohre undicht geworden, ein Beweis, wie elastisch nicht nur das gefrorene Gebirge war, sondern auch die Gefrierrohre selbst.

In Erkenntnis dieser Gefahr übertrieb man nun bei größeren Teufen den Gedanken und gab das Schießen ganz auf oder beschränkte es auf leichte Einbruchschüsse. Das ist nun auch nicht richtig. Bei Fortschritten von etwa 20 cm täglich ohne Schüsse braucht man bald zehn Tage, um so viel abzuteufen, daß man den Stoß mit einem Tübbingsring von normaler Höhe — 1,50 m — verbauen kann; in dieser Zeit hat aber der Gebirgsdruck genügend Zeit sich auszulösen, und die Gefahr wird größer, als sie vorher war. Daß die an sich schon in großer Spannung stehende Frostmauer besonders in großen Teufen durch die Stoßschüsse erschüttert wird, ist zweifellos. Ich halte dies aber für kurze Zeit für unbedenklicher, vorausgesetzt, daß der Stoß schnell und gut verbaut wird, als daß man ihn notgedrungen längere Zeit freistehen lassen muß.

Dies alles gilt wohlverstanden nur für nicht standfestes Gebirge. In Deutschland hat man aber bei den tiefen Schächten im Wurm- und Rheingebiet nur mit solchem zu tun, während im allgemeinen in Frankreich, Belgien und England standfestes Gebirge vorhanden ist, bei dem man nur das Wasser auszufrieren braucht, um ungefährdet den Schacht niederbringen zu können.

In den oberen Teufen macht sich der Gebirgsdruck so wenig geltend, daß man unbeschadet der Sicherheit des Schachtes Sätze von 100 m abteufen und unausgebaut stehen lassen kann. Bei einem Schacht der holländischen Staatsgruben ist man mit der Größe dieses obersten unausgebauten Satzes sogar bis auf 250 m gegangen.

Auskleidung von Gefrierschächten.

Zum Ausbau von Gefrierschächten benutzt man im allgemeinen nach wie vor nur Tübbings. Mit Rücksicht auf die sehr hohen Kosten wird man aber auch dazu übergehen müssen, bei geringeren Teufen Mauerwerk zu verwenden. Falls dieser Ausbau mit der nötigen Vorsicht eingebracht wird, ist bis

zu Teufen von 120 bis 150 m kaum etwas dagegen einzuwenden, wenn das Gebirge nicht zu druckhaft ist.

In Polen sind zwei Gefrierschächte der Saturngrube bei Sosnowice bis zur Teufe von 150 m nur mit Betonformsteinen von etwa 60 bis 70 cm Dicke ausgebaut worden. Die Steine selbst aber waren sehr schlecht, auch wurde der Fehler gemacht, daß man sie in einer Dicke gleich derjenigen der Schachtmauer hergestellt hatte, so daß die einzelne Schicht nicht im Verband gemauert werden konnte. Wegen der dadurch bedingten Undichtigkeit der Mauer wurde es nötig, die letztere später zu zementieren und noch eine Eisenbetonmauer davor zu setzen. Dem Ausmauern mit Betonsteinen ist das mit Ziegelsteinen, das heißt Klinkern, vorzuziehen. Gebraucht man die Vorsicht, die Steine selbst vorher anzuwärmen, den Mörtel mit warmem Wasser anzumachen und den Raum zwischen Gebirgsstoß und Mauer mit trockener, besser noch mit heißer Asche zu füllen, so kann man sicher sein, einen guten, zuverlässigen Ausbau zu erhalten.

Beim Einbau von Tübbings hielt man noch lange Zeit daran fest, alle 30 bis 50 m einen Keilkranz einzubauen, auf dem sich dann die Tübbingssäule aufsetzte. Dabei wurde nicht beachtet, ob man in einer wassertragenden Schicht war oder nicht, auch nahm man keine Rücksicht auf die Art des Gebirges. Der Keilkranz ist aber nichts weiter als ein Mittel, einen bestimmten Wasserhorizont abzuschließen, deshalb muß er in einer wassertragenden Schicht liegen, und aus diesem Grunde wird auch der Raum zwischen Hinterkante Keilkranz und Gebirgsstoß picotiert. Keilkränze im Sande oder tonigem Sande oder im wasserführenden Gebirge zu verlegen, ist daher eine unnütze Geldausgabe. Auch die Ansicht, daß sich im Gefrierschacht die eingebaute Tübbingsäule nur halten könne, wenn sie auf einem Keilkranz ruht, der seinerseits wieder auf einer sorgfältig hergerichteten Gebirgsbrust verlegt ist, muß als abwegig bezeichnet werden. Sofern der Raum zwischen Tübbing und Stoß gut mit irgendeiner etwas feuchten Masse, sei es Ton oder Sand oder Beton, hinterfüllt ist, friert der Tübbing nach kurzer Zeit ein und rührt sich nicht von seiner Stelle, auch wenn er weder von oben noch von unten gehalten wird. Späterhin, nach dem Auftauen, drückt sich das Gebirge so fest um ihn, daß er auch dann ohne besondere Auflagerung an seinem Platze gehalten wird.

In wie starke Spannung ein einzelner Tübbingring durch den Gebirgsdruck gebracht wird, erhellt aus folgender Tatsache: Im Schacht Borth I der Deutschen Solvaywerke mußten die Tübbings, die das Werk selbst beim Weiterteufen mit der Hand unterhalb des Gefrierschachtes eingebaut hatte, wieder entfernt werden, als das Gefrierverfahren in größerer Teufe noch einmal angewandt werden sollte. Um die Tübbings möglichst ohne Bruch wieder zu gewinnen, spitzte man ein Segment hinten so weit frei, daß man es nach hinten schieben und ausbauen konnte. Man machte aber jedesmal die Bemerkung, daß bei der dadurch bewirkten einseitigen Auslösung des gleichmäßig auf dem Tübbingsring lastenden Gebirgsdrucks der Ring an irgendeinem Segment riß. Nebenbei gesagt auch ein Beweis dafür, daß Tübbings einen ungleichmäßigen Druck nicht aushalten können.

Das gleiche geht hervor aus einem Unfall, der auf der Zeche Friedrich Heinrich beim Abteufen des Gefrierschachtes I passierte. Hier brach bei einer Teufe von 152 m im Tone die an einer Stelle offenbar nicht genügend starke Frostmauer durch, und der Ton drückte so stark, daß er die Schrauben im senkrechten Stoß zwischen zwei Tübbings abscherte und die Segmente selbst in den Schacht drückte.

Im allgemeinen kommt es aber kaum vor, daß in dem Teile des Schachtes, der zuverlässig mit Tübbings ausgebaut ist, noch Unfälle entstehen. Deshalb sieht man auch neuerdings davon ab, je nach Gebirgsart schon in Teufen von über 100 m größere Sätze frei stehen zu lassen. Haniel & Lueg gehen sogar so weit, daß sie grundsätzlich den Schachtstoß mit dem Weiterteufen durch Unterhängen der Tübbings sofort verbauen. Thyssen & Co. befolgen den gleichen Grundsatz, bauen aber dann später noch eine zweite Tübbingssäule von unten nach oben ein, weil die Ringe durch Unterhängen niemals so zuverlässig dicht eingebaut werden können, als wenn man sie aufbaut. Gebhardt & Koenig stehen dagegen auf dem Standpunkt, möglichst vom Unterhängen abzusehen und in größeren Teufen oder bei unsicherem Gebirge mit dem Fortschreiten des Abteufens den Stoß durch vorläufiges Unterhängen der Tübbings mit Zwischenräumen zu sichern, dann aber nach Abteufen eines bestimmten Satzes diese wieder abzubauen und von unten nach oben aufzusetzen.

Einige Worte möchte ich noch über die Hinterfüllung des Raumes zwischen Gebirgsstoß und Tübbings sagen. Auch jetzt noch verstampft man meistens den Raum durch einen mehr oder weniger fetten Beton und glaubt, dadurch eine Verstärkung der Auskleidung des Schachtes herbeizuführen. Dieser vermeintliche Zweck wird aber keineswegs erreicht, da die Betonierung nicht mit dem Tübbing statisch zusammenwirken kann, sondern den Gebirgsdruck zunächst aufnimmt und dann auf den Tübbing überträgt. Da eine Betonschicht von 10 bis 15 cm keinen nennenswerten Druck aushalten kann, wird sie als Festigkeitsorgan nach kurzer Zeit zerstört sein und nicht mehr als Dichtungsmittel und druckaufnehmende Schachtmauer, sondern nur noch als Ausfüllung zwischen Gebirgsstoß und Tübbing wirken. Deshalb ist es jedenfalls besser und sparsamer, wenn man entweder Sand in den Zwischenraum einschlämmt oder besser noch Ton. Mit diesem hat man wenigstens einigermaßen die Gewähr, daß er die Wasser aus dem Gebirge auf ihrem Wege durch die Tübbings zurückhält.

Will man von der Einbringung von Beton nicht absehen, dann sollte man ihn möglichst als Eisenbeton in solcher Dicke einbringen, daß er für sich allein den Gebirgsdruck aushalten kann. Dies ist meines Wissens bei Gefrierschächten zweimal geschehen, und zwar bei zwei Schächten der Gewerkschaft Carl Alexander und bei zwei der Gewerkschaft Carolus Magnus in einer Dicke bis zu 65 cm. Die günstige Wirkung dieses Ausbaues merkte man sofort beim Auftauen des Schachtes. Während das Dichten eines Schachtes bei schwacher Hinterfüllung mit Beton viele Monate bis zu einem Jahr in Anspruch nahm, konnte man bei den Schächten mit eisenarmiertem starken Beton und vorgesetzten Tübbings die Wasserdichtigkeit des Schachtes in drei bis vier Monaten erreichen.

Schädlich für den Beton ist auch das Zusetzen von Chemikalien als Frostschutz. Wenn dies auch ermöglicht, daß der Beton unter Frost abbindet, so ist seine Widerstandsfähigkeit dadurch so vermindert, daß er als Festigkeitselement noch weniger in Frage kommt als solcher, mit reinem Wasser angemacht. Anderseits ist festgestellt worden, daß beim Abbinden eingefrorener Beton, unter Wasser, also unter Luftabschluß, aufgetaut, nachträglich tadellos abgebunden hat und die gleiche Festigkeit besitzt wie normaler Beton.

Auftauen des gefrorenen Gebirges.

Diese Erkenntnis hat dann auch dazu geführt, den letzten und wichtigsten Arbeitsabschnitt, das Auftauen des Gefrierschachtes, in andre Bahnen zu lenken, als dies noch bis etwa 1910 üblich war. Dem Auftauen ist lange Zeit nicht die Bedeutung beigemessen worden, die es tatsächlich für den Erfolg des ganzen Verfahrens besitzt. Heute steht man auf dem Standpunkt, daß damit erst die Sorgen des Unternehmers anfangen, da durch das Auftauen ja festgestellt wird, ob der Wasserabschluß im Gebirge erreicht, ob die Auskleidung dicht und durch Gebirgsdruck der Schacht nicht aus dem Lot und seiner kreisrunden Form gedrückt ist.

Früher machte man sich das Auftauen insofern leicht, als man anstatt der kalten Lauge nunmehr nach ihrer Entfernung aus den Gefrierrohren Dampf durch die Rohre hindurch blies. Dieses etwas gewaltsame Verfahren hatte meistens den Erfolg, daß die Gefrierrohre an irgendeiner Stelle undicht wurden bzw. rissen und die Rohre voll Wasser liefen. Geschah das nicht, so war die Wirkung so kräftig auf das Gebirge, daß der Schacht aus allen Fugen nach kurzer Zeit zu laufen anfing. Bevor man dem Beton Frostschutzmittel zusetzte, lief die aufgetaute Zementbrühe einfach zwischen den Fugen aus und verbrannte den dichtenden Hauern Gesicht und Hände. Selbst Chemikalienzusatz als Frostschutz half in den wenigsten Fällen. Auch hier behielt man meistens hinter den Tübbings nur Sand und Kies übrig. Durch die Ausdehnung der Tübbingssäule infolge Erwärmung und nachherigem Wiedersetzen mußten sämtliche Schrauben nachgezogen und die Fugen wiederholt nachgestemmt werden.

Viel schlimmer war aber eine andre Folge dieses gewaltsamen Auftauens. Ebenso wie sich die Frostmauer infolge der nicht regelmäßigen Stellung der Rohre nicht gleichmäßig bildet, verläuft das Auftauen natürlich ebenso ungleichmäßig. So kann es vorkommen, daß der unter dem Schutz der noch nicht aufgetauten Frostmauer stehende Schacht auf einmal einseitigen Druck erhält, wenn die Frostmauer an einer Stelle so weit aufgetaut ist, daß sich der Gebirgsdruck auslösen kann. Die Folge sind gerissene Tübbings und Schachtverdrückungen. Hierzu kann noch die Möglichkeit treten, daß die bei Durchbrüchen während des Schachtabteufens entstandenen Hohlräume plötzlich zusammenbrechen. Die dynamische Kraft dieser zusammenstürzenden Gebirgsmassen kann besonders unheilvoll werden. Sind die dadurch herbeigeführten Beschädigungen des Schachtausbaues so stark, daß er zum Teil erneuert werden muß, oder ersäuft der Schacht infolge gerissener Tübbings oder durch Wasserzugang von der Sohle her, dann ist es schwierig, den Gefrierbetrieb wieder ordnungsmäßig aufzunehmen. Die meisten Gefrierrohre

sind infolge des gewaltsamen Auftauens undicht geworden und beim Einbau von Ersatzrohren muß man feststellen, daß an der Bruchstelle sich die Rohre verschoben haben und neue Löcher gebohrt werden müssen. Wer aber schon einmal die Arbeit durchgeführt hat, in einem Gebirge, das nur zum Teil aufgetaut ist, neue Löcher zu bohren, wird alles daran setzen, dem auszuweichen.

Auch eine andre Überlegung trug dazu bei, das Auftauverfahren zu ändern und wirtschaftlicher zu gestalten. Beim Einbau der Tübbings ist nämlich niemals festzustellen, ob diese völlig unbeschädigt sind, d. h. man kann durch bloßen Augenschein nicht prüfen, ob keine Haarrisse beim Gießen, Bearbeiten und beim Befördern entstanden sind. Erst wenn die Tübbings eingebaut sind und nach dem Auftauen unter Druck kommen, machen sich diese Risse bemerkbar und wirken unter Umständen so unheilvoll, daß das Segment ausgebaut werden muß. Das kann meistens aber wiederum nur unter dem Schutz der Frostmauer geschehen.

Ein von Gebhardt & Koenig bzw. deren Oberingenieur Joosten eingeführtes neues Verfahren sah nun völlig davon ab, nach Fertigstellung des Schachtes die Lauge aus den Gefrierrohren zu entfernen und Dampf hindurchzuschicken. Man pumpte sie wohl noch langsam durch die Rohre, schaltete den Gefrierbetrieb aber völlig aus und ließ die Lauge sich nach und nach von selbst erwärmen. Vorher aber setzte man den Schacht unter Wasser und brachte dieses allmählich durch Einblasen von Dampf auf eine höhere Temperatur, etwa bis 30 bis 35 °C. Das Auftauen des Schachtes verlief also umgekehrt wie früher von innen heraus, anstatt von dem Gefrierrohr her nach dem Schachtinnern zu.

Hierdurch werden folgende Vorteile erreicht: Zunächst wird dem Beton, sei es nun reiner Hinterfüllungsbeton in geringer Dicke, oder Eisenbeton in Verbindung mit Tübbings, oder reines Ziegelmauerwerk, Gelegenheit gegeben, nachträglich unter Luftabschluß im Gleichgewichtszustand abzubinden. Sodann bildet sich nach einigen Wochen um den Schachtausbau herum eine aufgetaute Zone, wodurch der Schacht nach dem Sümpfen des eingefüllten Wassers unter gleichmäßigen hydrostatischen Druck gesetzt wird. Dabei ist die Frostmauer noch unbeschädigt, wenn ihre Festigkeit infolge der mangelnden Kältezufuhr auch wesentlich abgenommen hat. Jedenfalls kann der Gebirgsdruck noch nicht in vollem Umfange zur Geltung kommen.

Dieses Sümpfen kann im allgemeinen nach etwa sechs bis acht Wochen erfolgen, und man ist dadurch in der Lage, den Schacht genau daraufhin zu untersuchen, ob etwa Tübbings gerissen oder Picotagefugen undicht geworden sind, ohne dabei durch das Auslaufen der Zementmilch wie früher belästigt zu werden. Auch die ganze Arbeit des Nachziehens der Schrauben und des Verstemmens der Fugen geht wesentlich leichter vor sich.

Ist aber wider Erwarten ein Ziehen der Wasser nicht durchzuführen, muß man also mit sehr starken Undichtigkeiten oder Schäden der Tübbings oder aber mit Wasserzufluß von der Sohle her rechnen, dann ist es ein leichtes, durch Wiederinbetriebnahme der Gefrieranlage die Frostmauer schnell zu verstärken und die zusitzenden Wasser abzufrieren. Ein Sümpfen des Schachtes wird dann bald möglich sein, und man kann leicht feststellen, woher die Wasser gekommen sind und dem Schaden abhelfen.

Beim Auftauen des Schachtes unter Wasser kann sich die Tübbingssäule auch viel schneller und leichter setzen, und vor allen Dingen wird die beim alten Auftauverfahren drohende Gefahr ihrer einseitigen Belastung wenn auch nicht ganz vermieden, so doch sehr eingeschränkt. Es ist mir der Versuch bekannt, das Auftauen durch warme Luft oder Dampf ebenfalls von innen aus zu bewirken. Die wichtigsten der oben geschilderten Vorteile kommen dadurch fast in Wegfall, und sollte man deshalb an dem erprobten Verfahren, den Schacht unter Wasser aufzutauen, festhalten.

Tiefe Schächte und Schlußwort.

Jeder Fachmann, der mit Gefrierschächten zu tun gehabt hat, wird der Ansicht sein, daß heute auch tiefe Schächte durch eine zuverlässige und in ihrem Fach erfahrene Firma in kürzerer oder längerer Frist heruntergebracht werden können, nur wachsen die Schwierigkeiten, wenn man das Gebirge in den normalen Zustand zurückgebracht hat. Gerade für tiefe Schächte hat deshalb die Entwicklung eines zuverlässigen Ausbaues besondere Bedeutung, wobei ich darauf hinweise, daß die Lösung dieser Frage wohl kaum durch besondere Tübbingskonstruktion, wie z. B. sogenannte Breitflanschtübbings, gelöst werden kann.

In Verbindung mit der Notwendigkeit, daß man bei tiefen Schächten den Gebirgsdruck so schnell wie möglich durch einen starken Ausbau abfangen muß, wird man wohl dazu übergehen, in großen Teufen Eisenbeton mit kräftiger Eisenkonstruktion anstatt Rundeiseneinlagen zu verwenden, wobei die Eisenkonstruktion zusammen mit einem starken Blechmantel am Stoß den Druck zunächst allein aufzunehmen hätte. Zur Verstärkung des ganzen Ausbaues und Abdichtung des Schachtes gegen das Gebirgswasser müßten dann vor diesen Eisenkonstruktions-Ausbau noch Tübbings durch Aufsetzen vorgebaut und während dieser Arbeit der Beton in die Eisenkonstruktion zwischen Tübbing und Gebirgsstoß gestampft werden. Auf diese Weise würde wohl ein völlig zuverlässiger Ausbau entstehen, der selbst größeren Gebirgs- und Wasserdrücken dauernd standhält.

Zum Schluß möchte ich noch auf die vielen mühevollen Arbeiten aufmerksam machen, die man aufgewendet hat, um im Gebirge, das sich besonders für Gefrierschächte eignete, Schächte nach andern Verfahren, z. B. durch Senken oder Bohren, niederzubringen. Bei manchen Schächten hat man jahrelang mit allen möglichen Mitteln das Abteufen versucht und mußte schließlich doch zum Gefrierverfahren übergehen, mit welchem dann die auftretenden Schwierigkeiten in kurzer Zeit überwunden werden konnten. Zweifellos erfordert die Anwendung dieses Sonderverfahrens ja außerordentliche Kosten. Wenn man dem aber gegenüber hält, daß die Verwaltung in einer ganz bestimmten Zeit damit rechnen kann, den Schacht in der gewünschten Teufe zur Verfügung zu haben und vor allem die entstehenden Kosten ziemlich genau zu übersehen, so sollte jede Verwaltung bei unklaren Gebirgsverhältnissen und größeren Wasserzugängen von vornherein zum Gefrierverfahren übergehen, um unnütze Zeit und Geldaufwand zu sparen. [A 1957]

Preisausschreiben für einen Funkenfänger für Braunkohlenbriketts.

Die Verwendung von Braunkohlenbriketts auf Staatsbahnlokomotiven beschäftigt die Braunkohlenindustrie zurzeit sehr stark. Daß Braunkohlenbriketts mit Erfolg auf Lokomotiven verfeuert werden können, hat der Braunkohlenbergbau schon seit Jahrzehnten bei seinen Abraum- und Anschlußgleislokomotiven bewiesen. Diese Tatsache hat dem Deutschen Braunkohlen-Industrieverein Veranlassung gegeben, beim Reichsverkehrsministerium anzuregen, Versuche mit Braunkohlenbriketts auf Staatsbahnlokomotiven anzustellen. Die Versuche, die das Eisenbahnzentralamt daraufhin auf der Versuchsstrecke Grunewald-Wiesenburg inzwischen vorgenommen hat, ergaben, daß die Leistung einer auf Braunkohlenbrikett-Feuerung umgestellten Zwillings-Güterzuglokomotive G 7 zufriedenstellend war, der verhältnismäßig starke Funkenauswurf jedoch einer Verwendung von Braunkohlenbriketts auf Staatsbahnlokomotiven mit Rücksicht auf die Brandgefahr vorläufig noch gewisse Schwierigkeiten bereitet. Um die Frage der Beseitigung des Funkenauswurfs zu klären, erläßt der Deutsche Braunkohlen-Industrie-Verein, Halle a. d. S., zusammen mit dem Mitteldeutschen Braunkohlen-Syndikat, Leipzig, und dem Ostelbischen Braunkohlen-Syndikat, Berlin, ein Preisausschreiben, dessen nähere Bedingungen im Anzeigenteil dieses Heftes Seite 95 bekanntgegeben werden. [M 256]

Die neuen Verbundpumpmaschinen des Hamburger Wasserwerks.

Berichtigung. In den in Nr. 12 vom 22. März d. J. erschienenen Aufsatz von Baurat R. Schröder, Hamburg, haben sich einige Druckfehler eingeschlichen. Auf S. 277 r. Sp. im 5. Absatz von unten muß es in der 24. Zeile 66 000 ℳ anstatt 60 000 ℳ heißen. Auf S. 278 l. Sp. muß im 2. Absatz von oben 10. Zeile 8,5 m anstatt 3,5 m gesetzt werden, desgleichen in der 14. Zeile 266,2 Mill. m³ statt m². [M 266]

Aus der Werkstatt des Lichtbogenschweißers.

Berichtigung. Wir werden darauf aufmerksam gemacht, daß die in der Fußnote Z. 1924 Heft 6 S. 132 angegebene Quelle: Ethan Viall, „Electric Welding“, einen in der Zeitschrift „American Machinist“ vom 3. Juli 1920 S. 837 u. f. erschienenen Aufsatz als Unterlage benutzt hat. [M 255]

Die Wirkung der Wagenkipper auf die Güterwagen.

Von Finanz- und Baurat Schulz, Dresden.

Die aus den Bedürfnissen des Betriebes hervorgegangene Entwicklung der Eisenbahnwagenkipper, ihre Fehler und Vorschlag zu ihrer Abhilfe.

Die zur Verbilligung und Beschleunigung der Wagenentladung und zur Verminderung der Abhängigkeit von anspruchsvollen und streiklustigen Arbeitern sich mehr und mehr einführenden Wagenkipper haben etwa folgende Entwicklung ihrer Konstruktion durchgemacht[1]): Ihre einfachste Form ist die im Stumpfgleis, wo sie mit festen Endpuffern an der Kippbühne ausgestattet werden konnten. Der Großbetrieb insbesondere der Gasanstalten verlangte aber eine beschleunigte Massenentladung, wobei die Wagen, die von der einen Seite beladen an die Kippgrube heranrollen, diese nach der Entleerung überfahren und dem nächsten vollen, aus gleicher Richtung folgenden Wagen Platz machen. Unter Beibehaltung der festen Endpuffer, die einen guten konstruktiven Gedanken darstellen, verband man daher dieselbe Kippvorrichtung — nicht gerade zu ihrem Vorteil — mit einer Drehscheibe, auf der der Wagen rechtwinklig zur Gleisachse gedreht und dann gekippt wurde; die Bauweise wurde aber dadurch zugleich schwerfällig und vielteilig und ihre Bedienung umständlich.

Abb. 1 und 2. Beanspruchungen der Achsen eines 20t-Wagens beim Kippen mit Achsangriff.

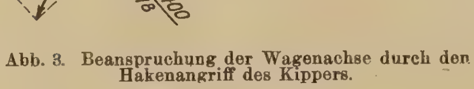


Abb. 3. Beanspruchung der Wagenachse durch den Hakenangriff des Kippers.

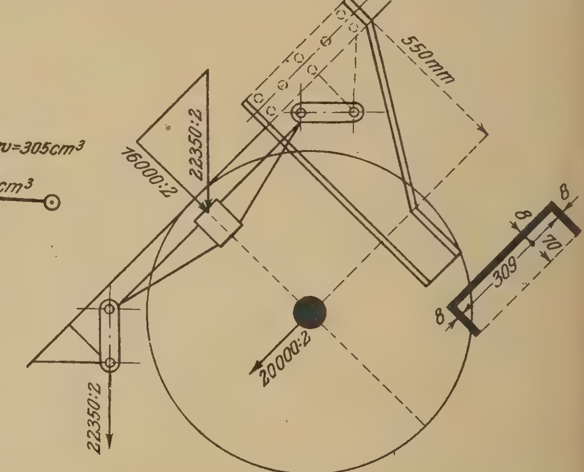


Abb. 4. Beanspruchung der Federn und Achsgabeln.

Alles dies hat sich schließlich offenbar als so lästig erwiesen, daß man von dieser Bauweise loszukommen suchte, wobei man leider den Angriff des Wagens am Puffer opferte und dafür denjenigen an der Achse wählte, ohne sich anscheinend über die unzulässigen Beanspruchungen klar zu sein, die man den Wagenteilen dabei zumutete. Den Eisenbahnverwaltungen hätte nun als Genehmigungsbehörden das Recht zugestanden, derartige Bauweisen abzulehnen, doch wird man zunächst allen Mitteln zur Beschleunigung der Wagenentladung eine freie Entwicklung nicht haben versagen wollen und hat daher wohl das kleinere Übel in Kauf genommen.

Die Vorderachse wird bei allen diesen Bauarten jetzt von zwei Fanghaken umfaßt, die an der Kippbühne befestigt und besonders von Hand oder selbsttätig bewegt werden. Nach der Dienstanweisung hat die Bedienung sich von dem zuverlässigen Greifen der Achse zu überzeugen, was nur in sehr unbequemer Stellung und bei Dunkelheit unter Anwendung einer Handlaterne möglich ist. Wenn Bremsgehänge im Wege sind, so ist der Wagen vom Kippen ausgeschlossen und von Hand zu entladen. Bei etwa 15° Hub der Kippbühne soll der Stirnklappenverschluß geöffnet werden, damit die Ladung rechtzeitig abrollen kann, woran sie indessen zuweilen durch Festklemmen der Verschlußhaken oder Zusammenfrieren der Ladung verhindert wird. Man macht daher die Beobachtung, daß der volle Wagen bereits einen viel größeren Hub als 15° erreicht hat, ehe es gelingt, den Bordklappenverschluß unter dem sich steigernden Druck der Ladung, zuweilen erst am Hubende, endlich mit Gewalt zu öffnen, worauf die ganze Ladung mit einem Male abrollt und die plötzliche Federentlastung einen Sprung des Wagens in die Höhe herbeiführt.

[1]) Vergl. Z. Bd. 51 (1907) S. 1525, Bd. 53 (1909) S. 1437 u. f., Bd. 64 (1920) S. 738 u. f.

Diese Bauweise kann nun unzulässige Beanspruchungen einer Reihe Wagenteile hervorrufen, die nicht für diese Inanspruchnahme bestimmt sind. Diesem Übelstande könnte nun zwar durch Verstärkung der Wagenteile abgeholfen werden, es fragt sich aber, ob man von den Eisenbahnverwaltungen verlangen kann, mangelhafte Bauweisen der Kipper damit gewissermaßen zu rechtfertigen; viel eher begründet erscheint der Weg, eine angemessene, den Interessen der Benutzer und der Eisenbahnverwaltungen gleichmäßig entsprechende Bauweise für die ungünstigsten Belastungsverhältnisse auszubilden und dazu zunächst die Fehler der jetzt üblichen Bauweisen festzustellen.

Nehmen wir einen Wagen von 20 t Ladegewicht und 8 t Eigengewicht an, Abb. 1 und 2:

Gesamtlast des beladenen Wagens 28 t, die unter den vorstehend erörterten Möglichkeiten bis zu 45° Erhöhung der Bühne unverändert anzunehmen ist,

Raddrücke bei 45° Hub an der Vorderachse 22 350 kg, an der Hinterachse 5650 kg.

Die Gesamtlast von 28 t zerlegt sich in eine Komponente senkrecht zur Bühne von 20 t, die von ihrem Eisenbau, und parallel zur Bühne von 20 t, deren Komponente von den Fanghaken aufgenommen wird. Die 20 t der letzteren Komponente zerlegen sich wieder in eine solche von 28 t in Richtung der Fanghaken und in eine zweite von 20 t senkrecht zur Bühne, die als Raddruck zur Geltung kommt. Die Vorderachse wird hiernach wie folgt beansprucht, Abb. 3:

durch die Komponente 16 000 ihres Anteils an der Gesamtlast senkrecht zur Bühne	16 000 : 2
durch die Komponente 20 000 der Gesamtlast parallel zur Bühne	20 000 : 2
durch den senkrecht zur Bühne sich ergebenden Fanghakendruck $\dfrac{20\,000 \cdot 400}{2 \cdot 978}$	4 080
Resultante	11 000

Dem Widerstandsmoment im Hakenangriff $w = 337$ cm³ entspricht eine Beanspruchung der Wagenachse von 1916 kg/cm².

Die Federn haben für 100 kg Belastung 0,99 kg/mm² Beanspruchung. Der Schenkeldruck von 22 350 : 2 zerlegt sich in eine Komponente senkrecht zur Feder von 16 000 : 2 und parallel zur Feder, Abb. 4; 8000 kg Belastung entsprechen also

$$\frac{8\,000 \cdot 0{,}99}{100} = 80{,}8 \text{ kg/mm}^2$$

Beanspruchung. Die doppelten Federgehänge von je 50 × 20 mm² Querschnitt werden verschieden beansprucht: die sich senkrecht stellenden Gehänge der Vorderachse mit $\frac{22\,350}{2}$, entsprechend 558 kg/cm², die sich wagerecht stellenden mit der Wagerechtkomponente von 16 000 : 2, entsprechend 250 kg/cm². Da die Verbindungsstelle zwischen Federbund und Achsbuchsen nur für eine Kraftübertragung in senkrechter Richtung bestimmt und ausgebildet ist, muß auch der andre Weg der Kraft, durch die Achsgabeln, verfolgt werden.

Die beiden oberen Achsgabelhälften haben den ganzen Wagerechtschub der Ladung von 20 000 kg aufzunehmen, die unteren sind entlastet. Die Beanspruchung berechnet sich zu

$$\frac{20\,000 \cdot 550}{2 \cdot 259} = 2123 \text{ kg/cm}^2.$$

Wenn nun auch durch Unterklotzen der Federn und frühzeitigeres Öffnen der Stirnwandklappen die Beanspruchungen vermindert werden könnten, so lassen sich doch solche Vorschriften zwar geben, aber schwer überwachen und bei dem jetzigen Geist des Personals überhaupt nicht erzwingen. Man wird also mit diesen viel zu hohen Beanspruchungen der Konstruktionsteile der Eisenbahnwagen rechnen müssen, die in der Vereinigung der beim Kippen auftretenden Kräfte auf eine einzige Achse ihren Grund haben. Dieses Zusammenfallen der Kräfte muß also bei Neubauten von Wagenkippern vermieden werden. Das führt wieder zur Inanspruchnahme der Puffer als einziger Wagenteile, die geeignet sind, die auftretenden Kräfte aufzunehmen, ohne sie erst durch die Achsgabeln, Federn und Gehänge zu leiten, und zwar müssen die sich hiernach ergebenden Endpuffer, um den neuzeitlichen Anforderungen zu entsprechen, umlegbar sein.

Umlegbare Puffer sind bereits ausgeführt, und zwar mit Achsen parallel zum Gleis und mit nur so viel Bewegung, daß das Normalprofil des lichten Raumes frei wird, Abb. 5. Patentiert ist auch eine um eine senkrechte Achse ausschwenkbare und mit der Kippbühne lösbar verbundene Pufferbohle, die im Ruhezustande parallel zur Gleisachse steht, beim Kippen aber an der Hubbewegung um die Kippbühnenachse teilnimmt. Bei beiden bleiben die Vorrichtungen in der Ruhestellung über dem Planum und werden hier, namentlich wenn der Kipper ohnehin ein Gerüst über dem Planum erfordert, nicht weiter stören. Sobald jedoch mit Rücksicht auf Verkehr und Übersichtlichkeit eine unterirdische Grube für Drehpunkt und Antrieb gewählt werden muß, werden diese über das Planum hervorragenden Teile mit ihrem verwickelten Antrieb störend wirken.

Einen ersten Schritt in dieser Richtung machte der Plankipper[1]), der die Vorderachse nicht auf der Hubbühne, sondern auf dem festen Gleis außerhalb derselben ruhen ließ und damit die Zugkraft in den Fanghaken und die Beanspruchung der Vorderachse zwar verringerte, im übrigen aber an der Inanspruchnahme der Vorderachse, Federgehänge und Achsgabeln zum Festhalten des Wagens beim Kippen grundsätzlich nichts änderte.

Eine andre Lösung wird erwünscht sein, s. Abb. 6 bis 10. Die beiden mit Gegengewicht ausgewuchteten, um den Drehzapfen der Bühne schwingenden Endpuffer (Prellböcke) liegen in der Ruhestellung neben den Fahrschienen auf deren Außenseite, wo sie von den Sicherungshaken mittels einer Nase niedergehalten werden. Löst man den Haken, so heben sich die Endpuffer unter dem Einfluß der Gegengewichte von selbst bis zur Pufferhöhe des Wagens und werden auch in dieser Stellung durch die Sicherungshaken wieder festgehalten, Abb. 6 und 7. Nun wird der beladene Wagen mit der Zwickstange bis an die Endpuffer herangeführt und kann gekippt werden, ohne daß man auf etwa vorhandene Bremsgehänge oder auf die Achsdurchmesser Rücksicht zu nehmen nötig hätte. Die beim Kippen auftretenden Kräfte gehen vom Wagenkasten unmittelbar durch die Wagenpuffer auf die Endpuffer der Bühne, ohne die Achsgabeln in Mitleidenschaft zu ziehen.

Die Federn und Federgehänge werden wieder durch die Komponenten der sich beim Kippen ergebenden Senkrechtkomponenten belastet, die Vorderfeder also mit $\frac{22\,350}{2} \cos 45° = 8000$, vergl. Abb. 10. Die Angriffstelle der Endpuffer ist durch die „technischen Vereinbarungen" ein für allemal festgelegt.

[1]) „Maschinenbau" Bd. 2 (1922/23) Nr. 18 S. 716.

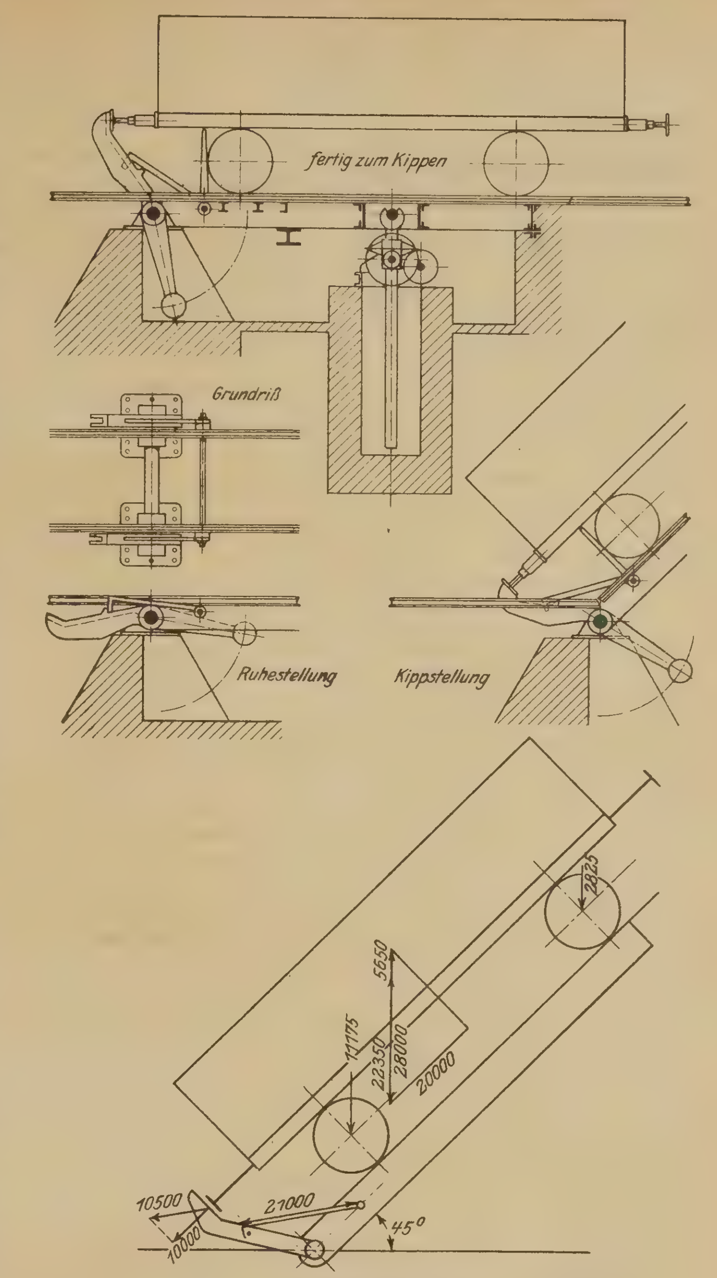


Abb. 6 bis 10. Wagenkipper mit umlegbaren Prellböcken. D. R.G.M. 744341

Abb. 5. Umlegbare Puffer an Wagenkippern.

Abb. 11 bis 13. Beanspruchungen bei verschiedenen Kipphöhen.

Die Bedienung ist sehr einfach und übersichtlich und schont die Wagenteile, die Endpuffer und Sicherungshaken können den auftretenden Kräften ohne weiteres angepaßt werden. Die Vorderachse wird nur mit 685 kg/cm² beansprucht, wohingegen die Feder allerdings keine Verminderung ihrer Beanspruchung erfährt. Die Vorteile sind indessen so erheblich, daß sie eine ganz wesentliche Schonung des Wagenbaustoffes darstellen, was bei dessen jetziger, ohnehin bis aufs äußerste getriebenen Inanspruchnahme sehr erwünscht sein wird. Die etwas schwerere Konstruktion der Kipperteile: Endpuffer und Sicherungshaken, kann demgegenüber gar nicht in Betracht kommen. Man würde also, wenn man die Federn der Vorderachse, wie schon bei den jetzt üblichen Konstruktionen unterklotzt, jede Überanstrengung der Wagenbaustoffe vermeiden und auf Seite der Werkbesitzer den Vorteil der leichteren und übersichtlicheren Bedienung und den Wegfall jeder Behinderung durch Wagenteile (Bremsgehänge), die die kommende durchgehende Güterzugbremse noch vermehren wird, buchen können.

Durch die hier empfohlene Vorrichtung wird also das erreicht, was bei den bisherigen Bauweisen nur papierne Vorschrift war. Abb. 11 bis 13 stellen die Verhältnisse bei 15°, 30° und 45° Erhöhung dar. Die Tatsache, daß dies bisher nicht gewährleistet werden konnte, dürfte schon genügen, um eine gewisse Zurückhaltung der Eisenbahnverwaltungen gegen die jetzigen Wagenkipper, die z. B. in der Besprechung des Düttingschen Vortrages: „Die Verwendung der Selbstentlader im öffentlichen Verkehr der Eisenbahnen", ihren Ausdruck findet[1]), noch weiter zu verschärfen, während dieser Vorschlag wesentliche Mängel der älteren Ausführungen vermeidet. [A 2062]

[1]) Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen 1918 S. 882 und „Verkehrstechnische Woche" 1918 S. 199.

Wasserleitungskraftwerke.

Die Stadtgemeinde **Wien** hat bereits vor zehn Jahren in die Druckentlastungskammern der zweiten Hochquellenleitung eine kleine Turbinenanlage für rd. 1200 kW Leistung eingebaut, wodurch ungefähr 9 Mill. kWh bei voller Jahresausnutzung ständig verwertet werden konnten[1]). Nachdem sich die früher aufgeworfenen Bedenken gegen die Unschädlichkeit solcher Anlagen als unhaltbar erwiesen haben, wird der schon vor 20 Jahren entstandene Plan von Oberbaurat Dr. Kinzer, in den äußeren Strecken dieser Hochquellenleitung zwischen Lunz und Kienberg Wasserkraftwerke einzubauen, nunmehr im Anschluß an den Ausbau der Ybbswerke[2]) verwirklicht werden.

Wie Ing. E. Bodenseher in Heft 11/12 (1924) der Zeitschr. des Österr. Ing.- und Architektenvereins mitteilt, steht ein Gefälle von rd. 224 m zwischen dem Ybbsfluß und der Erlauf zur Verfügung, das in zwei Kraftstufen ausgenutzt wird; dabei sind 2,3 m³/s Betriebswasser das ganze Jahr hindurch vorhanden. Zu diesem Zwecke muß eine 11 km lange Wasserleitungsstrecke umgelegt werden. Ein Stollen von etwa 8 km Länge führt bis zum Wasserschloß der ersten Stufe. Von hier gelangt das Wasser durch eine rd. 600 m lange Druckrohrleitung mit 180 m Nutzgefälle zum Krafthaus Gaming, dessen normale Leistung 4640 PS beträgt. Der Unterwasserkanal dieses Werkes führt in seiner Fortsetzung als Lehnenstollen mit 26 m Nutzgefäll über das Wasserschloß der zweiten Stufe zum zweiten Kraftwerk unterhalb des Bahnhofs Kienberg-Gaming, dessen Nutzleistung rd. 640 PS beträgt. Beide Kraftwerke können bei voller Ausnutzung etwa 32 Mill. kWh billigster Energie erzeugen, die mittels Hochspannungsfernleitung über das Umschaltwerk Gresten der Ybbswerke nach Wien übertragen wird.

Um bei Schwankungen des Kraftbedarfs alle Verluste an Trinkwasser zu vermeiden, wird das überschüssige Betriebswasser mittels Überfalles durch eine Verbindungsleitung in den alten Wasserleitungskanal zurückgeführt und gleichzeitig die Zuleitung zum Kraftwerk durch eine elektrisch betätigte Fallschütze abgesperrt. Überdies ist bei gleichzeitiger Betriebsunfähigkeit der beiden in Gaming aufgestellten Maschinensätze von je 5000 kVA (bei 5000 V) voller Ausbauleistung noch im Wasserschloß ein Leerschuß-Überfall vorgesehen. Vorläufig wird nur die größere erste Stufe ausgebaut, die etwa zwei Jahre Bauzeit erfordert. Die Stollenvorarbeiten am Grubberg sind bereits seit dem Hebst 1923 im Gange. [M 259] Rb.

[1]) Eine ähnliche Trinkwasser-Kraftanlage besteht seit 1917 in der bosnischen Landeshauptstadt Sarajewo, bei 250 bzw. 450 m Gefälle und 250 bzw. 150 l/s Wassermenge.
[2]) Z. Bd. 68 (1924) S. 224.

Besuch der Technischen Hochschulen des Deutschen Reiches im Winterhalbjahr 1923/24.

Zum ersten Male seit dem Kriege hat sich die Gesamtzahl der Hochschulbesucher im Winterhalbjahr 1923/24 gegenüber dem Vorjahr vermindert, wie aus Zahlentafel 1 ersichtlich ist. Gegenüber dem Winterhalbjahr 1913/14 ist indessen die Zunahme immer noch sehr groß. Zahlentafel 2 zeigt die Verhältniszahlen gegenüber dem Winterhalbjahr 1922/23 und 1913/14. Der Rückgang verteilt sich ziemlich gleichmäßig auf alle Abteilungen außer der Bergbauabteilung, die eine geringe Steigerung der Besuchszahl aufweist.

Zahlentafel 2. Verhältniszahlen für die Zunahme der Winterhalbjahre 1922/23 und 1923/24 gegen 1913/14.

	Gesamtzahl der Studierenden	Verhältniszahl	Maschineningenieurwesen und Elektrotechnik	Verhältniszahl
W.-S. 1913/14	11 726	1	4 304	1
W.-S. 1922/23	28 482	2,43	14 357	3,33
W.-S. 1923/24	27 573	2,35	13 950	3,24

Die preußischen Hochschulen und Danzig werden seit rd. einem Jahre in Fakultäten eingeteilt, denen Dekane vorstehen. Man unterscheidet: 1. die Fakultät für Allgemeine Wissenschaften, 2. die Fakultät für Bauwesen, in der die Abteilungen für Architektur und Bauingenieurwesen zusammengefaßt sind, 3. die Fakultät für Maschinenwirtschaft, bestehend aus den Abteilungen für Maschineningenieurwesen und Elektrotechnik sowie Schiff- und Schiffsmaschinenbau, 4. die Fakultät für Stoffwirtschaft, die sich aus der Abteilung für Chemie und Hüttenkunde und der für Bergbau zusammensetzt. In Zahlentafel 1 haben wir die Einteilung in Abteilungen beibehalten, um einen Vergleich mit den übrigen deutschen Hochschulen durchzuführen. [M 198] Sd.

Zahlentafel 1. Besuch der Technischen Hochschulen und Bergakademien Deutschlands im Winterhalbjahr 1923/24.

Abteilungen		Aachen	Berlin	Braunschweig	Breslau	Clausthal	Danzig	Darmstadt	Dresden	Freiberg	Hannover	Karlsruhe	München	Stuttgart	Gesamtzahl der Studierenden W.-S. 1923/24	W.-S. 1922/23[1])	W.-S. 1913/14[2])
Architektur	Stud.	46	211	84	—	—	84	159	243	—	116	90	293	216	1542	1547	1921
Bauingenieurwesen	„	60	424	110	—	14[3])	232	268	338	—	311	225	457	286	2725	3445	2717
Maschineningenieurwesen	„	216	1358	368	426	-	495	1009	}1399	—	1232	470	}2258	718	}13950	}14357	3040
Elektrotechnik	„	129	998	199	276	—	296	802		—	558	410		333			1264
Schiff- und Schiffsmaschinenbau	„	—	216	—	—	—	129	—	—	—	—	—	—	—	345	361	233
Chemie, Elektrochemie, Pharmazie	„	107	473	327	171	—	101	306	578	—	254	253	477	385	3432	}4593	1422
Hüttenkunde	„	239	111	—	200	221	—	—	—	138	—	—	30	49	988		429
Bergbau	„	156	391	—	39	666	—	—	—	484	—	—	—	—	1736	1653	106
Land- und Forstwirtschaft	„	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	396	—	396	496	191
Allgemeine Wissenschaften	„	39	43	71	25	1	131	83	705	—	160	61	927[4])	213	2459	2030	403
Studierende zusammen		992	4225	1159	1137	902	1468	2627	3263	622	2631	1509	4838	2200	27573	28482	11726
Hörer und Gastteilnehmer		52	542	406	88	11	166	330	799	99	437	124	424	633	4111	4808	5263
Gesamtzahl im W.-S. 1923/24		1044	4767	1565	1225	913	1634	2957	4062	721	3068	1633	5262	2833	31684	—	—
„ „ „ 1922/23		1507	5218	1670	1147	861	1947	3226	3595	654	3121	1990	5420	2934	—	33290	—
„ „ „ 1913/14		1071	2978	668	357	—[5])	1329	1585	1647	—[5])	1771	1330	2900	1351	—	—	16989

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 599. [2]) Z. Bd. 58 (1914) S. 155. [3]) Markscheider. [4]) davon 812 Studierende der Wirtschaftswissenschaft. [5]) Besuchsziffer nicht ermittelt.

Zwei moderne Turbinenanlagen.

Von Oberingenieur R. Hofmann, Vevey.

Bericht über die Turbinen zweier neuzeitlicher Wasserkraftanlagen — Kraftwerk Amsteg: Beschreibung der 14300 PS-Peltonturbinen, der Regler und insbesondere der Sicherheits-Einrichtungen, die bei den hohen Anforderungen, den der elektrische Betrieb der Gotthardbahn stellt, nötig sind. Doppelregelung für Düsen und Ablenker. — Kraftwerk Mauzac: Beschreibung von großen Francis-Schnelläuferturbinen. Gestaltung der großen für die Beförderung zweiteilig ausgeführten Laufräder von 5060 mm Dmr.

Die Wasserkraftanlage Amsteg der schweizerischen Bundesbahnen.

Das Werk Amsteg, Eigentum der Schweizerischen Bundesbahnen, ist für die elektrische Zugförderung der Gotthardbahn bestimmt. Sie verwertet das Wasser der Reuß zwischen Gurtnellen und Amsteg. Von der Wasserfassung am Pfaffensprung bei Gurtnellen führt ein Druckstollen von 6,45 m² Querschnitt und 7,5 km Länge nach dem oberhalb des Dorfes Amsteg gelegenen Wasserschloß. Dies besteht aus einem aus dem Felsen ausgesprengten senkrechten Schacht von 5 m Dmr. und 30 m Höhe, an den sich unten ein 110 m langer Speicherstollen von 7 m² Querschnitt für Stoßbelastungen und oben ein 80 m langer Entlastungsstollen von 22 m² Querschnitt anschließen.

Vom Wasserschloß wird das Wasser den Turbinen durch drei Druckleitungen mit oben 1,8 m, unten 1,6 m l. W. zugeführt. Diese 450 m langen Leitungen speisen je zwei Turbinen von je 14300 PS. Zu den Turbinen führen je zwei Abzweigrohre von 700/650 mm l. W., Abb. 1 und 2, die außerhalb des Maschinensaales durch entlastete, von hydraulischen Servomotoren bewegte Ringschieber abgeschlossen werden können.

Der Platzverhältnisse wegen mußte der Unterwasserkanal auf die Seite der Druckleitungen verlegt werden.

Turbinen.

Zur Zeit sind fünf Peltonturbinen von je 14300 PS Nennleistung aufgestellt. Sie wurden von den Ateliers de Constructions Mécaniques S.-A., Vevey, geliefert. Eine sechste gleiche Turbine ist im Bau. Bei den Vorarbeiten wurden drei Entwürfe in Erwägung gezogen. Bei dem ersten wurden zwei Laufräder mit je 2 Strahlen, beim zweiten ein Laufrad mit je 2 Strahlen und beim dritten 2 Laufräder mit je einem Strahl vorgesehen. Die Schweizerischen Bundesbahnen haben der dritten Lösung den Vorzug gegeben, weil bei der Anordnung von nur einem Einlauf für ein Rad die Zugänglichkeit und Instandhaltung erleichtert und der Wasserabfluß aus dem Rad günstiger werden. Die Turbinen, Abb. 3 bis 6 und 7, sind für folgende Zahlen konstruiert:

Nutzgefälle	275 m
Wassermenge	4750 l/s
Leistung	14300 PS
Drehzahl	333⅓ Uml./min

Die bei den Versuchen ermittelte Höchstleistung hat bei 271 m Nettogefälle 15000 PS betragen. Bei der Höchstleistung von 15000 PS erreicht die spezifische Drehzahl den für diese Turbinenart sehr hohen Wert von $n_s = 37,5$.

Der theoretische Durchmesser der Laufräder beträgt 1800 mm und der Strahldurchmesser 215 mm. Das sind m. W. die größten in Europa z. Z. angewendeten Strahlen. Die beiden Räder einer Turbine sind je in ein eigenes gußeisernes Gehäuse eingebaut. Die beiden Gehäuse sind auf einem gußeisernen Fundamentrahmen aufgeschraubt, der mit der Schachtpanzerung verbunden ist.

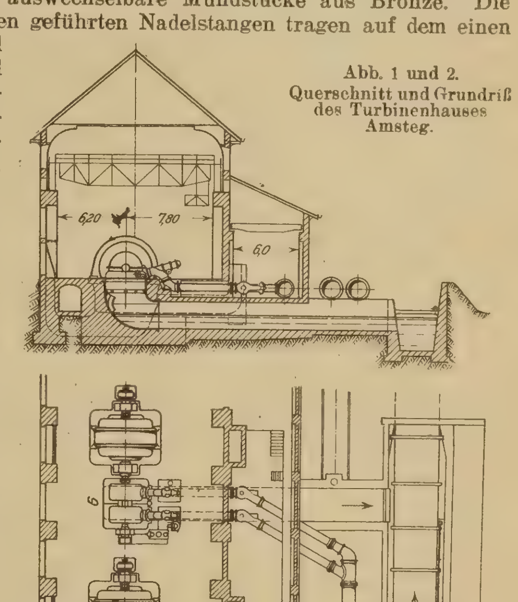
Um die bei plötzlichen Entlastungen aus dem Rad abgelenkten Strahlen dem Unterwasserkanal zuzuführen, sind die Schachtpanzer mit labyrinthartigen Umlenkern versehen, dank denen die Strahlen fast geräuschlos abgelenkt werden.

Die beiden Laufräder sitzen auf einer gemeinsamen Welle aus Siemens-Martin-Stahl, die auf der einen Seite in einem mit Wasser gekühlten Ringschmierlager von 350 mm Bohrung läuft und auf der andern Seite mit der Dynamowelle durch Kuppelflanschen starr gekuppelt ist. Der Maschinensatz hat somit nur drei Lager.

Laufrad. Die Nabenscheibe aus Stahlguß trägt an ihrem Umfange, rittlings befestigt, 20 Peltonschaufeln aus Stahlguß. Die zu je zweien in einem Stück gegossenen Schaufeln werden mittels zweier kräftiger Ringe aus Siemens-Martin-Stahl gegen die Nabenscheibe gedrückt. Die Schrauben dienen somit lediglich zum Zusammenziehen dieser Ringe und werden nicht auf Abscherung beansprucht. Die Schaftstücke der Schaufeln liegen aneinander an. Außerdem wurde zwischen je zwei Schaufelpaare ein Keil eingetrieben.

Die Schaufeln erhalten im Betrieb in der Minute je 333 Stöße von 17,5 t. Beim Durchbrennen werden die Schaufeln einer Fliehkraft von je 102 t unterworfen. Sie können im Werk ausgewechselt werden, ohne daß es nötig ist, die Nabenscheibe auszubauen.

Einläufe. Die beiden aus Stahlguß bestehenden Einläufe, die mit den Gehäusen verschraubt sind, haben Stahlgußdüsen und leicht auswechselbare Mundstücke aus Bronze. Die in Führungssternen geführten Nadelstangen tragen auf dem einen Ende die Nadel aus Sonderstahl und auf dem andern den Regulierkolben der Drucköl-Servomotoren, die auf die Einlaufkrümmer aufgeschraubt sind.



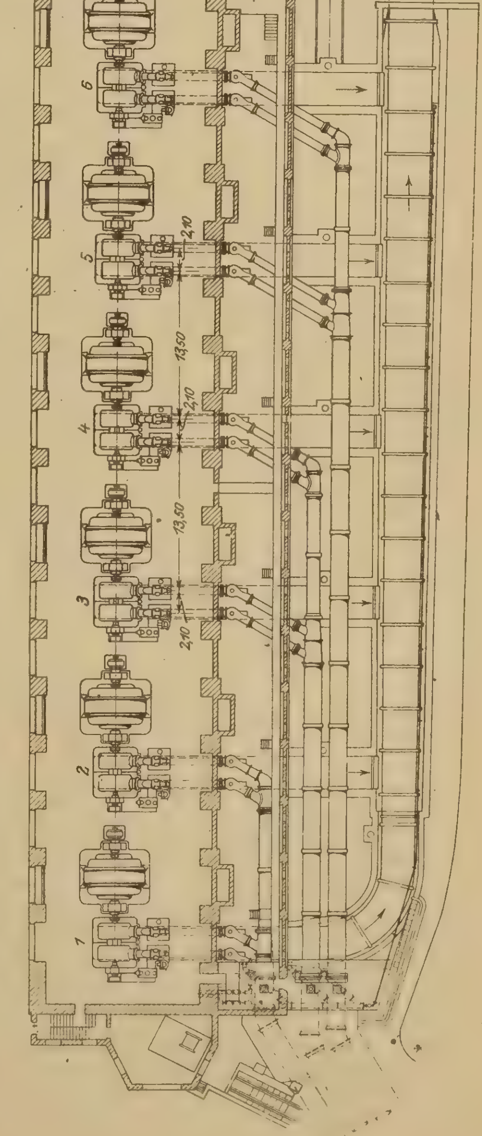


Abb. 1 und 2. Querschnitt und Grundriß des Turbinenhauses Amsteg.

Der auf die Düsennadeln wirkende Druck wird zum Teil durch kräftige, in den Servomotorzylindern untergebrachte Federn aufgenommen, wodurch die Betätigung mittels Handreglers erleichtert wird. Die Nadeln haben jedoch in allen Lagen das Bestreben zum Schließen. Eine rasche Schließbewegung ist aber ausgeschlossen, da die beiden Servomotoren beim Schließen gleichzeitig als Ölbremse wirken. Das in der inneren Servomotorkammer, Abb. 3, eingeschlossene Öl kann infolge des in die Abflußleitung eingebauten Kugel-Rückschlagventils nur langsam entweichen. Die Schließzeit der Düsennadeln kann durch eine die Abflußöffnung mehr oder weniger freigebende Einstellschraube beliebig groß gemacht werden, so daß die Drucksteigerung in der Rohrleitung bei plötzlicher Entlastung sehr klein gehalten werden kann.

Strahlablenker. Anderseits ist die Turbine mit einer

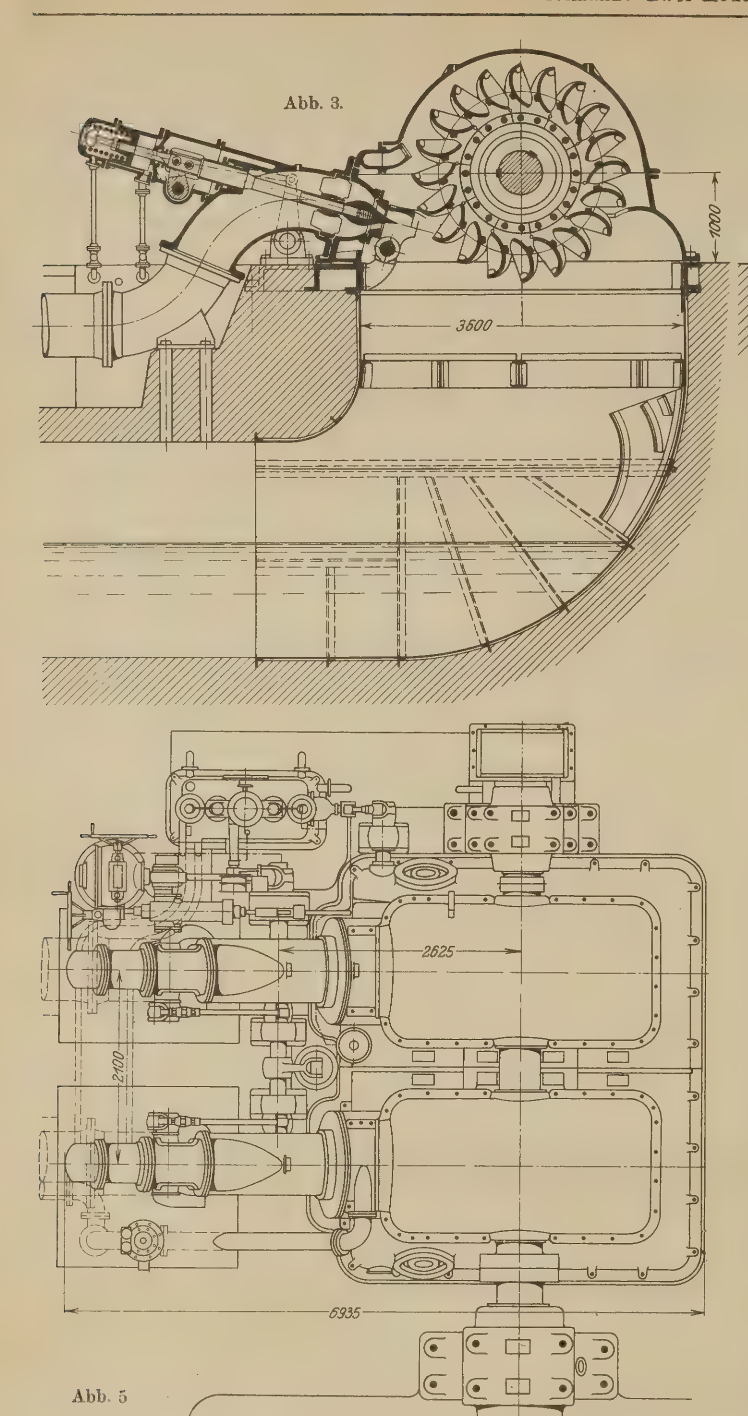


Abb. 4.

Abb. 3 bis 6. 14300 PS-Peltonturbine für Amsteg, gebaut von den Ateliers de Constructions Mécaniques S.-A. Vevey.
$H = 275$ m; $Q = 4{,}73$ m³/s; $n = 333$ Uml./min.

Strahlablenkerregelung ausgerüstet, die die Strahlen bei plötzlicher Entlastung der Turbine innerhalb einer Sekunde von den Laufrädern ablenkt. Die beiden Ablenker aus Stahlguß sind auf eine gemeinsame Regulierwelle aufgekeilt, die von einem eigenen, von den Servomotoren der Düsennadeln unabhängigen Servomotor betätigt wird. Die beiden unabhängigen Regelorgane werden durch ein gemeinsames Federpendel betätigt.

Turbinenregelung.

Die Handregelung der Düsennadeln ist neben dem einen Einlauf angeordnet, Abb. 5 und 6, und soll mit Rücksicht auf ihre Besonderheiten an der Hand der schematischen Darstellung, Abb. 8, kurz beschrieben werden. Im Innern des Kugelgehäuses des Ständers *a* ist ein Schneckengetriebe *b* angeordnet, das mit dem Handrad *c* angetrieben wird. Das Schneckenrad betätigt über die Reibkupplung *d* eine Mutter *e*, die die Spindel *f* verschiebt. Diese Spindel ist durch ein Gestänge starr mit den Düsennadeln verbunden.

Wenn sich die Servomotorkolben 9 bewegen, so verschieben sie ebenfalls die Spindel *f*, die infolge ihrer großen Steigung die Mutter *e* in Drehung versetzt. Diese Drehung ist möglich, solange die Reibkupplung *d* nicht eingerückt ist, d. h. solange der kleine Hilfsservomotor *g* unter Druck steht. Die Feder *h* hat dauernd das Bestreben, die Reibkupplung zu schließen. Wenn der Öldruck in dem kleinen Servomotor *g* abfällt, z. B. bei einer Betriebstörung an der Ölpumpe, oder wenn deren Sicherheitsventil gelüftet wird, so wird die Reibkupplung und damit die Handregelung sofort selbsttätig eingeschaltet.

Die Turbine wird daher auf folgende sehr einfache Art in Betrieb gesetzt: Man öffnet die Düsennadeln ein wenig mittels der Handregelung. Sobald die Turbine mit geringer Drehzahl läuft, kommt die Ölpumpe und damit auch der kleine Servomotor *g* unter Druck. Dieser schaltet die Reibkupplung und damit die Handregelung aus und die selbsttätige Regelung tritt in Wirksamkeit. Beim Abstellen der Turbine wird die Handregelung selbsttätig eingerückt. Auf die in Abb. 8 eingezeichnete Sicherheitsvorrichtung werde ich noch zurückkommen.

Die Handregulierung der Strahlablenker erfolgt durch einen besonderen aus Abb. 5 und 6 ersichtlichen Mechanismus. Innerhalb sechs Sekunden können die beiden Strahlen abgelenkt werden. Bei geringer Belastung arbeitet die Ablenkung schneller, da die Strahlenablenker die Strahlen immer berühren.

Ölpumpe. Der Öldruck wird durch eine Zahnradpumpe erzeugt. Diese ist im Lagerständer untergebracht und wird von der Turbinenwelle aus mittels eines Riemens, der durch eine Spannrolle gespannt wird, angetrieben, Abb. 4 und 6. Wegen möglichst großer Betriebsicherheit ist die Pumpe so reichlich bemessen worden, daß ein Windkessel erübrigt wurde. Man hat die zum Antrieb der Pumpe nötige Kraft auf einen Kleinstwert vermindert, indem das Reglerventil in seiner Mittellage nicht abschließt, sondern dem Öl freien Durchlaß gewährt.

Fliehkraftregler. Der doppelt wirkende Regler der Ateliers de Constructions Mécaniques besteht im Grunde genommen aus zwei Reglern, wovon einer die Düsennadeln, der andre die Strahlablenker betätigt. Das einzige gemeinsame Organ ist das Federpendel. Wenn aus irgendeinem Grunde das eine der beiden Reglersysteme versagt, so arbeitet das andre ungehindert weiter, wodurch die Betriebsicherheit bedeutend erhöht wird.

Wie bereits erwähnt, sind die Düsennadel-Servomotoren auf den Einlaufkrümmern aufgebaut, während der Ablenker-Servomotor im Gehäuse des Reglers untergebracht ist. Dieses Gehäuse dient gleichzeitig als Ölbehälter. Das Federpendel wird durch zwei Riemen angetrieben.

Mittels eines kleinen Elektromotors von $^1/_{20}$ PS kann die Umlaufzahl vom Schaltstand aus von 305 bis 360 Uml./min verändert werden. Die Ungleichförmigkeit kann während des Betriebes zwischen 1 und 5 vH verändert werden.

Sicherheitseinrichtungen.

Damit bei einem etwaigen Versagen des Reglers der Betrieb nicht unterbrochen zu werden braucht, wurde eine Vorrichtung vorgesehen, die die Handregelung selbsttätig einrückt

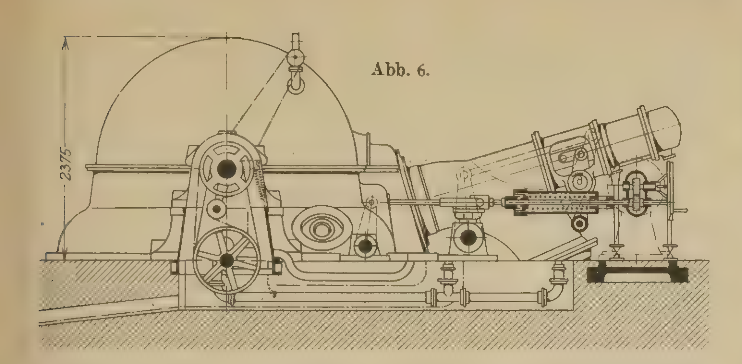


Abb. 8 zeigt ein Schema dieser Einrichtung. Auf das Reglerventil *i* mit dem Schwebekolben *k* ist ein kleines Hilfsventil gesetzt, dessen Steuerkolben *l* eine verhältnismäßig große Überdeckung hat. Wenn sich der Gelenkpunkt *o* des Hebels *p* mehr aus seiner Mittellage bewegt, als zur Betätigung des Schwebekolbens *k* nötig ist, so läßt der Steuerkolben *l* des Hilfsventiles das Drucköl des kleinen Servomotors *g* durch die Leitung *m* entweichen. Sofort wird durch die Feder *h* die Reibkupplung *d* und damit der Handregler eingerückt. Eine größere Verschiebung des Gelenkpunktes *o* und das damit verbundene Einrücken des Handreglers erfolgt in folgenden Fällen:

1. Wenn der Schwebekolben *k* oder der Kolben *q* festsitzen, so daß sie dem Federpendel nicht mehr folgen können;
2. wenn der Pendelantrieb versagt;
3. wenn der Regulierhebel *p* bricht;
4. wenn der Öldruck versagt.

Höchstgeschwindigkeits-Regler. Um ein Durchgehen der Turbine sicher zu vermeiden, hat der Erbauer noch einen Servomotor für Wasserdruck vorgesehen, der die Strahlen selbsttätig ablenkt, sobald die normale Umlaufzahl um 20 vH überschritten wird. Der Servomotor wird durch einen auf die Turbinenwelle aufgesetzten Fliehkraft-Regler betätigt; dieser öffnet beim Überschreiten der erwähnten Umlaufzahl einen Hahn, der dem Servomotor Druckwasser zuströmen läßt. Gleichzeitig wird ein Elektromagnet betätigt, der die Schließbewegung der beiden Hauptschieber einleitet.

Bremsdüse.

Im Bedarfsfalle kann die Gruppe mittels einer zu diesem Zweck vorgesehenen Gegendüse, Abb. 3, innerhalb drei Minuten abgestellt werden. Der Durchmesser des auf den Rücken der Laufradschaufeln wirkenden Strahles beträgt 65 mm.

Die Turbinen und Regler haben von Anfang an sehr befriedigt. Abb. 9 und 10 zeigen die Ergebnisse von Versuchen über den Ungleichförmigkeitsgrad bei 10 000 und 14 000 PS Belastung. Als Wirkungsgrade waren gewährleistet: 79 vH bei Halblast, 82 vH bei ¾-Last, 83 vH bei ⅞-Last und 82 vH bei Vollast.

Die Wasserkraftanlage Mauzac an der Dordogne.

Diese Anlage, Eigentum der Société de l'Energie Électrique du Sud-Ouest à Paris, liegt an der Dordogne oberhalb der älteren Anlage Tuilière. Sie liefert in Gemeinschaft mit dieser sowie der Dampfkraftanlage Floirac die elektrische Energie für einen großen Bezirk Südwest-Frankreichs, insbesondere für Bordeaux.

Bei vollem Ausbau wird die Anlage mit sechs Turbinen von insgesamt 21 000 PS Höchstleistung ausgerüstet sein. Zurzeit sind vier Schnelläufer-Francisturbinen mit senkrechter Welle aufgestellt, die von den Etablissements Leflaive S.-A. in St. Etienne (Frankreich) nach den Plänen der Ateliers de Constructions Mécaniques in Vevey gebaut worden sind.

Turbinen.

Die Turbinen weisen folgende Konstruktionszahlen auf:

Nutzgefälle	4,3	m
Wassermenge	54	m^3/s
Leistung	2500	PS
Drehzahl	55,5	Uml./min

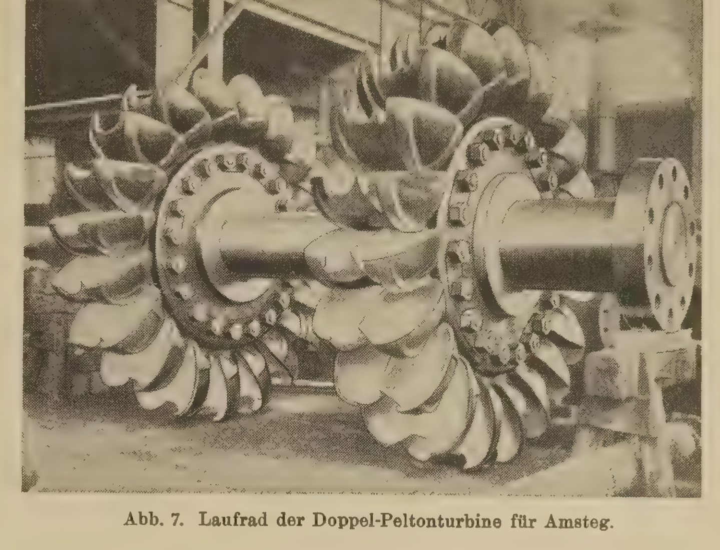


Abb. 7. Laufrad der Doppel-Peltonturbine für Amsteg.

Bei 4,3 m Gefälle betrug die Leistung 2700 PS, was einer spezifischen Drehzahl $n_s = 467$ entspricht. Abb. 11 und 12 zeigt die Ansicht des Stromerzeugers und die Turbine in Schnitt.

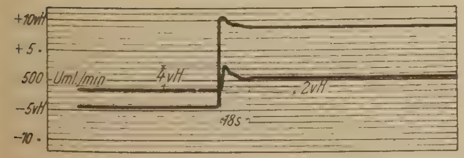
Jede Gruppe hat drei Lager, wovon zwei zum Stromerzeuger gehören. Das selbsttätig geschmierte Turbinenlager ist auf dem Leitraddeckel befestigt. Das gemeinschaftliche Ringspurlager mit selbsterzeugtem Entlastungsdruck ist auf das Tragkreuz der Dynamo aufgebaut. Es hat außer dem Gewicht der umlaufenden Teile des Maschinensatzes noch den axialen hydraulischen Schub des Laufrades aufzunehmen. Die gesamte Stumpfbelastung beträgt rd. 150 t. Der Boden der Dynamohalle wird in der Mitte durch eine Anzahl Säulen aus Eisenbeton getragen.

Das Wasser wird der Turbine durch eine Spirale aus Eisenbeton zugeführt. Eine in die Spirale eingebaute Schutzwand, ebenfalls aus Eisenbeton bestehend, dient gleichzeitig als Wasserführung. Die Turbinenkammern können durch je zwei Rollschützen abgeschlossen werden.

Zwei in den Fundamenten verankerte gußeiserne Ringe, die durch Stahlsäulen mit fischförmigem Querschnitt miteinander verbunden sind, dienen einerseits zur Wasserführung, anderseits als Gestell für die Turbine. Das Betonsaugrohr hat einen oberen Durchmesser von 5,3 m.

Das Laufrad, Abb. 13, mit 5060 mm Dmr. und 31 000 kg Gewicht mußte, um die Beförderung mit der Bahn zu ermöglichen, zweiteilig ausgeführt werden. Es besteht aus Gußeisen mit eingegossenen Stahlblechschaufeln. Die durch die Zweiteilung halbierten Stahlschaufeln wurden beim Zusammenbau im Kraftwerk zusammengeschweißt. Die beiden Radhälften sind durch zwei Bänder aus Stahlguß fest

Abb. 8. Schema der Regelvorrichtung der Amsteg-Turbine.



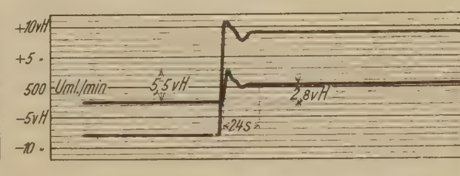


Abb. 9 und 10. Ungleichförmigkeitsgrad der Amsteg-Turbinen bei 10000 und 14000 PS.

miteinander verbunden. Es sind dies m. W. mit die größten in Europa zurzeit im Betriebe befindlichen Laufräder.

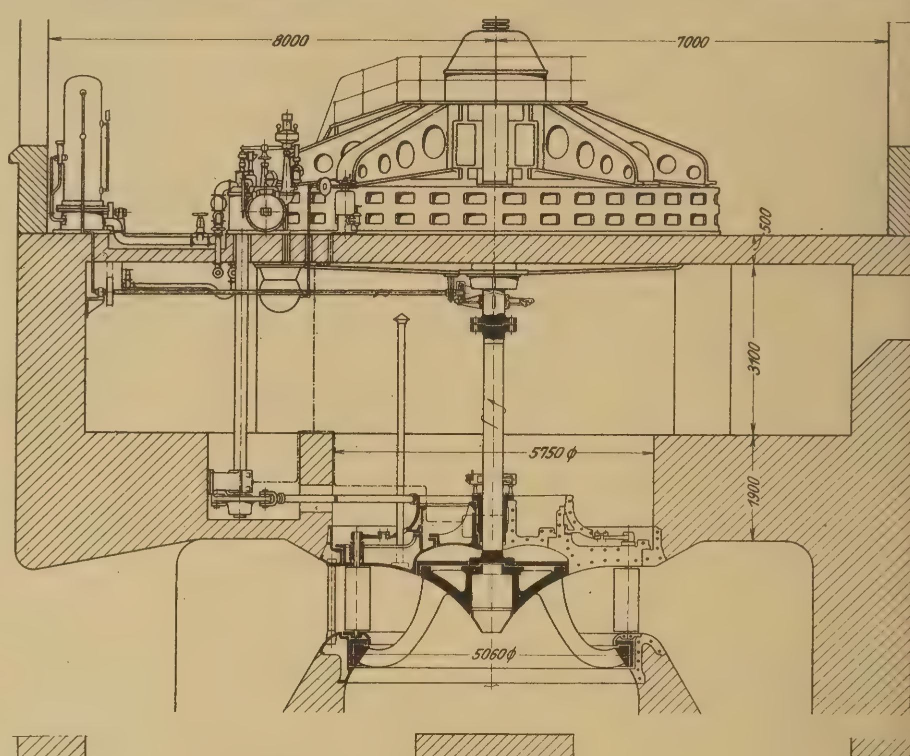
Das Rad ist mit dem Flansch der Turbinenwelle verschraubt und kann beim Zusammenbau samt dem damit gekuppelten Magnetrad auf dem gußeisernen Untersatz des Betonsaugrohrs abgestützt werden. Damit das Rad leicht zugänglich ist, ist in der Trennwand zwischen Spirale und Saugrohr ein Mannloch vorgesehen worden.

Die Leitrad-Drehschaufeln aus Stahlguß sind mit ihren Drehzapfen aus einem Stück gegossen. Die oberen Zapfen durchdringen den Leitraddeckel. Der gußeiserne, auf Bronzeleisten gelagerte Regulierring mit schmiedeeisernen Lenkern liegt aber außerhalb des Gehäuses. Die Lenker sind, wie meist üblich, so ausgebildet, daß sie brechen oder sich durchbiegen, falls ein Fremdkörper zwischen zwei Drehschaufeln eingeklemmt wird.

Regelung.

Um die Aufsicht auf das geringste Maß zu vermindern, sind die Regler, Druckwindkessel, Ölbehälter und Ölpumpen im Dynamoraum untergebracht worden. Als Ölpumpe dienen je zwei in Reihe geschaltete Zahnradpumpen, die von der Turbinenwelle aus mittels Reynoldkette angetrieben werden. Damit der Betrieb auch bei Versagen einer Pumpe oder eines Windkessels aufrecht erhalten werden kann, sind alle Regler durch eine gemeinsame Druckölleitung, die Ölbehälter durch eine Spiegelhöhen-Ausgleichleitung miteinander verbunden. Ein gemeinschaftlicher, von einem Elektromotor angetriebener Kompressor liefert die nötige Preßluft für die Windkessel und die zum raschen Stillsetzen der Gruppen angeordneten Druckluftbremsen.

Vor dem Bau dieser Turbinen haben die Ateliers de Constructions Mécaniques Vevey auf ihrer neuen Versuchsanstalt eingehende Modellversuche ausgeführt. Die der Ausführung zugrunde gelegte Versuchsturbine mit 400 mm Laufraddurchmesser und der gleichen spezifischen Drehzahl von 467 hat folgende Wirkungsgrade ergeben: 84 vH bei Vollast, 85 vH bei ⅞ Belastung, 83,5 bei ¾ und 76 vH bei halber Last. Die bei den Abnahmeversuchen bei 4,3 m Gefälle erhaltene Leistung war 8 vH höher als gewährleistet. [A 1965]



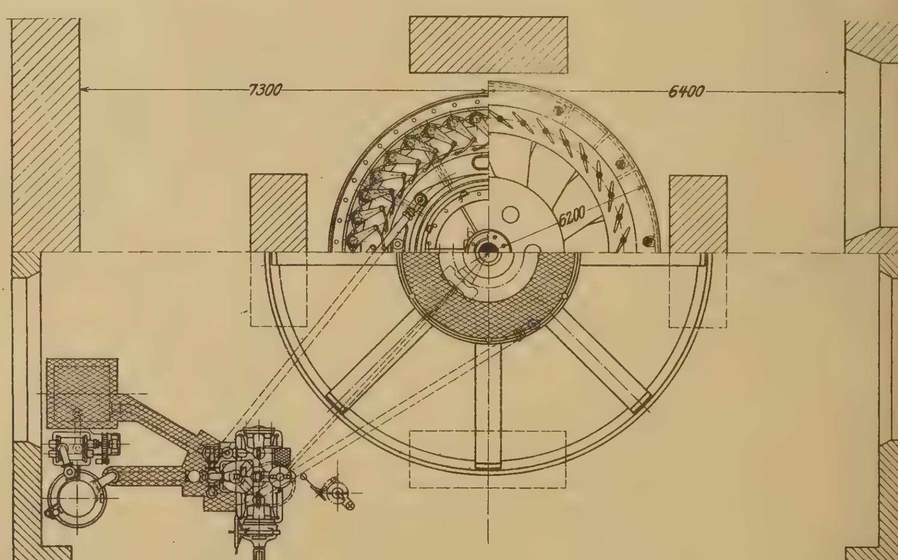


Abb. 11 und 12. Schnelläufer-Francisturbine der Wasserkraftanlage Mauzac; 2700 PS, 4,3 m Gefälle, 55,5 Uml./min, $n_s = 467$.

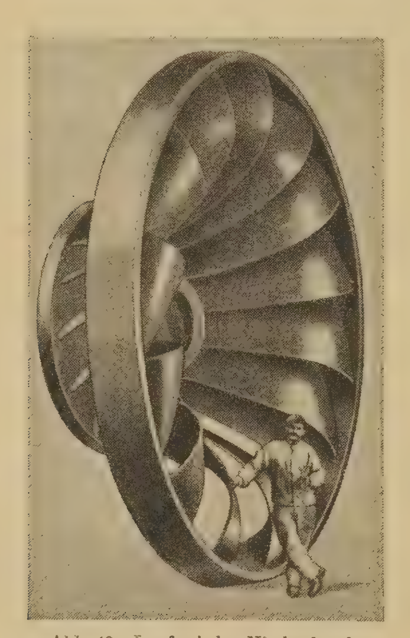


Abb. 13. Laufrad der Niederdruckturbine für Mauzac.

Gummidichtung bei Turbinen.

In den Vereinigten Staten von Amerika wird seit einiger Zeit die Gummidichtung bei Turbinen häufiger angewandt. Wie sich nach einjährigen Versuchen gezeigt hat, besteht die gefürchtete Gefahr des Festklemmens des Laufrades an der Dichtung nicht. Ebenso ist die Abnutzung infolge des Schleifens auf dem Gummi unbedeutend, da die Härte des Gummis dieselbe wie bei Kraftwagenreifen ist.

Bei einem mehr als zehn Jahre alten Kraftwerk der Southern California Edison Co. stieg die Leistung, die im Laufe der Zeit von 1550 auf 1440 kW zurückgegangen war, nach Einfügung der Gummidichtung auf 1670 kW. Da diese Leistung für die Dynamo zu groß war, nahm man eine alte 110 kW-Maschine wieder in Dienst, so daß jetzt mit der gleichen Wassermenge 1660 kW erhalten werden, mit der vorher nur 1440 kW geleistet wurden. Das bisher größte Gefälle, wofür Gummidichtungen verwandt worden sind, beträgt 106 m. Für das Oakgrove-Werk in Oregon sind jetzt Dichtungen für 259 m Gefälle bei 1,68 m Dmr. vorgesehen. Für die niedrigen Gefälle will man noch eine wirtschaftliche Fertigung in Streifen statt in Ringen versuchen. („Die Wasserkraft“ 1. März 1924) [M 264] Sd.

RUNDSCHAU.

Technische Mechanik.

Strömungswiderstand in rauhen Rohren und Gerinnen.

Einen großen Fortschritt in der Beurteilung und rechnerischen Beherrschung der hydraulischen Rauhigkeit und des Strömungswiderstandes in rauhen Rohren und Gerinnen bedeuten zwei zusammenhängende Untersuchungen von L. Hopf[1]) und von K. Fromm[2]), die mit Unterstützung der „Mittleren Isar", G. m. b. H., im hydraulischen Institut der Technischen Hochschule München begonnen und dann im aerodynamischen Institut der Aachener Hochschule weitergeführt worden sind.

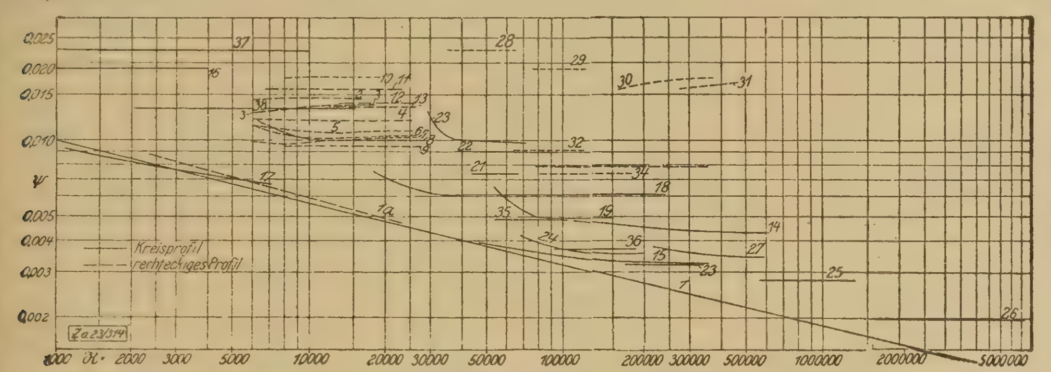


Abb. 1. Widerstandszahl ψ von rauhen Eisenrohren, Zement, Waffelblech und Drahtnetz in Abhängigkeit von der Reynoldsschen Zahl $\Re$.

Die Verfasser haben Versuche über den Druckabfall von Wasser in geschlossenen Rinnen von rechteckigem Querschnitt gemacht, gebildet aus zwei gegenüberliegenden Versuchsplatten und dazwischengeschobenen Randleisten von verschiedener Dicke. Als Versuchsplatten dienten glatte Zinkplatten, mit einem Drahtnetz belegte Platten, Waffelbleche verschiedener Art, flach gewalzte Waffelbleche und Bleche mit sägeschnittartigen Querriefen. Die Rauhigkeit der Gerinnewände war also bei den verschiedenen Versuchen sehr verschiedenartig; die Rauhigkeit wurde durch Abnahme von Gipsabgüssen der Messung zugänglich gemacht.

Das wesentlichste Ergebnis der Untersuchungen besteht nun darin, daß zwei ganz verschiedene Arten der Rauhigkeit vorzukommen scheinen, die Hopf als „Wandrauhigkeit" und als „Wandwelligkeit" bezeichnet. Bei der Darstellung der durch die bekannte Gleichung des Druckabfalls

$$h = \psi \frac{l}{r} \frac{v^2}{2g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

definierten Widerstandszahl ψ als Funktion der Reynoldsschen Zahl $\Re = \frac{v\,r}{\nu}$ in logarithmischen Koordinaten, erhält Hopf aus allen ihm aus der Literatur bekannten Versuchen an rauhen Eisenröhren, Zement, Waffelblech, Drahtnetz die Abb. 1 (r = hydraulischer Radius) und aus den Versuchen an Holzröhren, asphaltierten Eisenröhren und gewalztem Waffelblech die Abb. 2. Die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich auf die im Original angeführten Literaturstellen, die untere gerade Grenzlinie gilt für glatte Rohre. Die Widerstandszahl gemäß Abb. 1 geht mit zunehmendem $\Re$ schnell in einen konstanten Wert über. Der Druckabfall ist dann dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional, ψ soll nur noch von einer Rauhigkeitszahl $K_1 = \frac{k}{r}$ abhängen, und zwar nach der Formel $\psi = K_1^{c_1}$, wobei $c_1 \sim 0{,}314$ wäre (Typus der „Wandrauhigkeit"). Nach Abb. 2 dagegen nimmt ψ mit einer negativen Potenz von $\Re$ zu, wobei der Exponent als Funktion einer Rauhigkeitszahl K_2 darzustellen wäre, die von r unabhängig ist (Typus der „Wandwelligkeit"). Eine Sonderstellung nehmen die Messungen mit gezogenen Metallröhren ein, die, soweit sie nicht ganz glatt sind, bei kleinen Reynoldsschen Zahlen dem zweitgenannten Typus, bei großem $\Re$ dem ersten Typ zu entsprechen scheinen, Abb. 3.

Fromm, der das Versuchsverfahren von Hopf verfeinert und die wichtigsten Versuche ausgeführt hat, bezieht seine Ergebnisse auf Reynoldssche Zahlen $\Re$, bei denen statt des hydraulischen Radius r die halbe Tiefe $\frac{d}{2}$ seiner im Verhältnis zur Tiefe breiten Rinne eingeführt ist. Nach seinen Beobachtungen geht bei mittleren Rauhigkeiten Gl. (1) über in

$$h = 0{,}0562 \left(\frac{k}{d}\right)^{0{,}314} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \; . \; . \; (2),$$

wobei $\frac{k}{d}$ dem von Hopf eingeführten Rauhigkeitsmaß K_1 entspricht. Bei geringeren Rauhigkeiten nimmt ψ mit wachsendem $\Re$ ab. Ob bei großem $\Re$ ebenfalls das in v quadratische Gesetz erreicht wird, wäre noch zu untersuchen. Bei ganz großen Rauhigkeiten (Sägeschnittriefen mit der steilen Wand des Profils gegen die Strömung gerichtet) nimmt ψ zunächst mit $\Re$ zu. Auch hier macht es den Eindruck als ob sich ψ einem konstanten Wert nähere.

Für die oben genannte Größe k werden Zahlenwerte mitgeteilt, die zwischen 1,00 und 12,30 mm liegen. Ferner wird k mit den von Biel[3]) eingeführten Rauhigkeitsgraden I bis IV verglichen. Hiernach würde I der glatten Rinne entsprechen, II bis IV den Werten $k = 0{,}136$, 0,61 und 1,25. Auch wird eine Beziehung zwischen den Konstanten der v. Misesschen Widerstandsformel und den Werten k hergestellt und erörtert. [R 167] M. J.

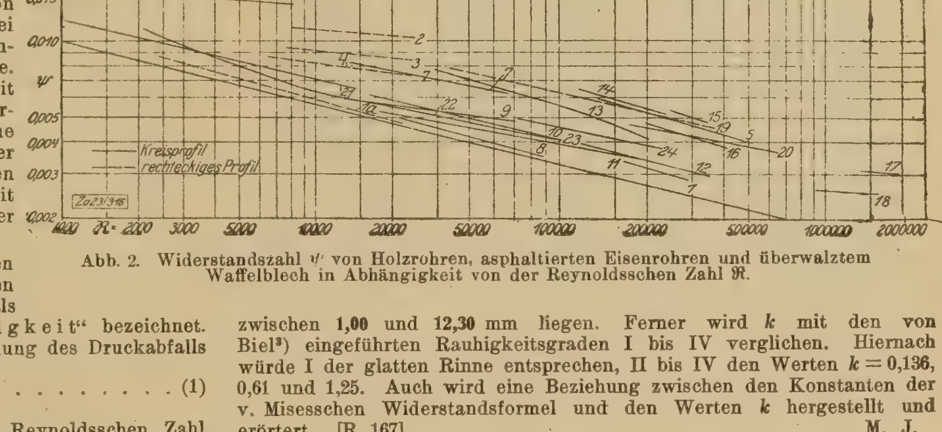


Abb. 2. Widerstandszahl ψ von Holzrohren, asphaltierten Eisenrohren und überwalztem Waffelblech in Abhängigkeit von der Reynoldsschen Zahl $\Re$.

[1]) Zeitschr. f. angew. Math u. Mech. Bd. 3 (1923) S. 329.
[2]) Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech. Bd. 3 (1923) S. 339.

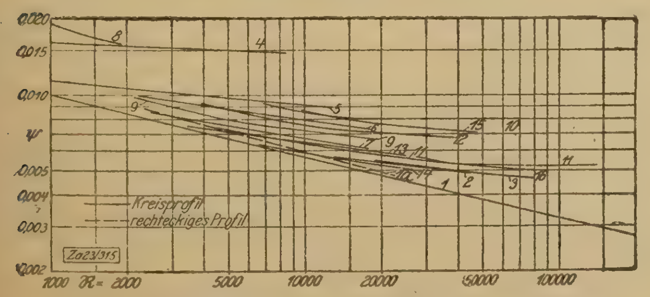


Abb. 3. Widerstandszahl ψ von Metallrohren in Abhängigkeit von der Reynoldsschen Zahl $\Re$.

Fördertechnik.

Versuche mit Fangvorrichtungen an Aufzügen.

Wer mit der Statistik der Unglücksfälle bei Aufzügen vertraut ist, weiß, daß bei Seilbrüchen die Fangvorrichtung fast immer versagt, in einzelnen Fällen schädlich gewirkt hat. Um die Wirkungsweise verschiedener Fangvorrichtungen kennen zu lernen und auf ihre Sicherheit schließen zu können, hat man im Versuchsfeld für Maschinenelemente der Technischen Hochschule Berlin (Vorsteher Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. O. Kammerer) eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Fangvorrichtungen durchgeführt.

Da nur aus den Bewegungen der am Fangvorgang beteiligten Maschinenteile ein Schluß auf die Wirkungsweise einer Fangvorrichtung möglich ist, wurden nach einem optischen Verfahren von den Keilen und dem Korb von beiden Seiten Zeit-Weg-Schaubilder aufgenommen. Alle Teile, deren Bewegung man zu kennen wünschte, wurden mit kleinen Nitralämpchen versehen. Ein photographischer Apparat war so aufgestellt, daß das Bild der Lämpchen der rechten Seite in einen links liegenden Schlitz, das Bild der Lämpchen der linken Seite in einen rechts liegenden Schlitz der Kassette fiel. Während des Versuches, bei dem der Korb aus der Ruhe oder aus der Abwärtsfahrt ganz von den Tragseilen gelöst wurde, wurden an den beiden Schlitzen zwei Platten mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorbeigezogen. Die so erhaltenen haarscharfen Kurven konnten mit einem Komparator genau ausgewertet werden.

Als maßgebend für die Wirksamkeit einer Fangvorrichtung haben sich ergeben: die Trägheitszeit, die Höchstverzögerung, die Einseitigkeit und die Schienenbeeinflussung. Die Trägheitszeit, d. h. die Zeit, die vom Beginn des freien Falles des Korbes bis zum Bremsbeginn verstreicht, wird hauptsächlich durch die Auslösevorrichtung einer Fangvorrichtung bedingt, die übrigen drei Größen durch die Bremsvorrichtung.

[3]) Biel, Forschungsarbeiten Heft 44 (1907).

Die bis jetzt gebräuchlichsten Fangvorrichtungen haben als Auslösevorrichtung für den Fall des Bruches beider Tragseile eine Feder, die auf die Fangkeile wirkt. Beim Seilbruch dehnt sich die Feder und die Keile werden an die Führungsschienen gedrückt. Bei den beiden untersuchten, nach diesem Grundsatz arbeitenden Fangvorrichtungen war

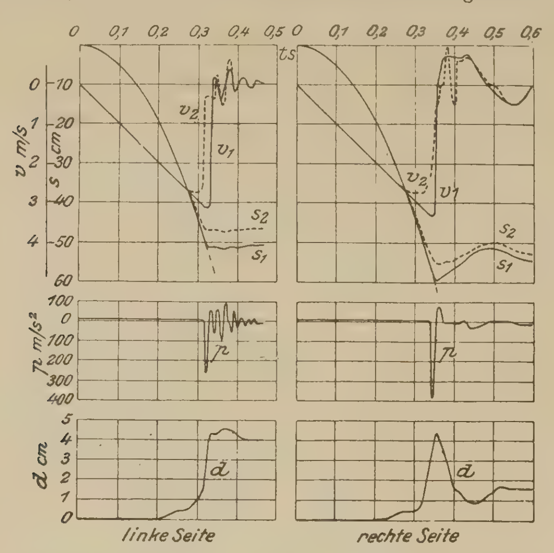


Abb. 4. Versuch aus der Ruhe mit einer Keilfangvorrichtung: Auslösung durch Geschwindigkeitsregler.

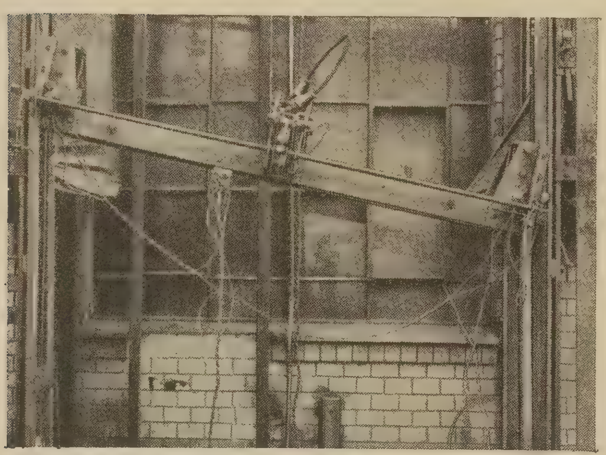


Abb. 5. Wirkung durch ungleiches Fangen der beiden Seiten. Verbogener und durchgestürzter Korb.

die Auslösevorrichtung mit Feder wirksam, solange kein Seilschwanz vorhanden war. Durch Rechnung und Versuch wurde festgestellt, daß ein solcher die Trägheitszeit vergrößert, unter Umständen die Fangvorrichtung gänzlich zum Versagen bringen kann.

Als wirksam erwies sich der Beschleunigungsauslöser, der bei zwei neueren Fangvorrichtungen angewendet war. Eine gewichtbelastete Feder im Korb dehnt sich, sobald eine bestimmte Beschleunigung (freier Fall) eintritt, und diese Bewegung wird zur Auslösung der Bremskraft benutzt. Diese Auslösevorrichtung wirkte sehr gleichmäßig und ergab kurze Trägheitszeiten (0,1 s).

Ganz unwirksam war der weitverbreitete Geschwindigkeitsregler. Er ergab Trägheitszeiten von 0,25 s und viel mehr; dementsprechend betrüge der freie Fall des Korbes aus der Ruhe 30,6 cm, bei 1 m/s Fahrgeschwindigkeit schon 55,1 cm! Wurde jedoch die Masse des Reglers vergrößert und der Kraftbedarf für die Auslösung der Bremskraft richtig abgestimmt, so wirkte diese Auslösevorrichtung, Trägheitsregler genannt, sehr zuverlässig. Außerdem wird die Wirkungsweise dieses Reglers durch Vernachlässigung (Verschmutzen usw.) begünstigt, während der Geschwindigkeitsregler dadurch noch unempfindlicher wird. Als zuverlässige Auslösevorrichtung zeigte sich auch ein Hilfsseil vom Gegengewicht zu der Fangvorrichtung im Korb (Wegauslöser).

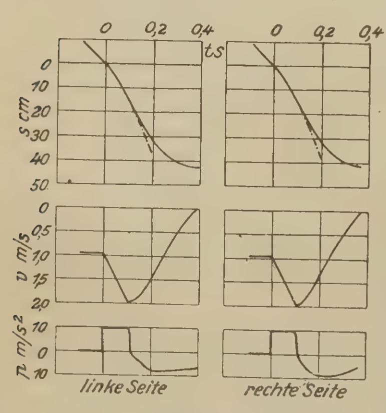


Abb. 6. Versuch aus Abwärtsfahrt mit einer Fangvorrichtung mit glatten Bremsbacken.

Die durchgeführten Versuche zeigten deutlich, daß Bremsteile, welche die Schienen beschädigen (gezahnte Keile, Messer usw.), zu verwerfen sind. Solche Bremsen ergaben hohe Verzögerungen (300 m/s² und mehr) und wirkten, durch gewisse Ausführungen der Auslösevorrichtung und durch ungleiche Festigkeit der beiderseitigen Holzschienen begünstigt, stark ungleichmäßig auf beiden Seiten. Abb. 4 zeigt das Schaubild eines Versuches aus der Ruhe mit einer Keilfangvorrichtung, Auslösung durch den Geschwindigkeitsregler (Gesamtgewicht 355 kg). s_1, s_2 ist der Weg des Korbes bzw. des Keiles zu den Führungsschienen, v_1, v_2 die Geschwindigkeit des Korbes bzw. des Keiles, p die größte Verzögerung des Korbes und d der Weg des Keils zum Korb. Infolge des ungleichen Fangens kam es bei den Versuchen öfter vor, daß die eine Seite durchrutschte, der Tragrahmen stark verbogen wurde und in die Grube stürzte, Abb. 5.

Glatte Keile, die sich gleichmäßig an die Schienen anlegen konnten, bremsten den Korb sanft ab, ein einseitiges Hochspringen des Korbes, wie bei Keilfangvorrichtungen, trat nie auf. Die Höchstverzögerungen betrugen 50 m/s². Holz- und Eisenführungen erwiesen sich als brauchbar. Abb. 6 zeigt das gleichmäßige Abbremsen des Korbes durch eine solche Fangvorrichtung (Versuch aus Abwärtsfahrt mit 0,97 m/s Fahrgeschwindigkeit bei 950 kg Gesamtgewicht und Beschleunigungsauslöser).

Die Versuche haben deutlich gezeigt, welcher Weg beschritten werden muß, um eine sicher wirkende Fangvorrichtung zu erhalten. Sie haben außerdem ergeben, daß die üblichen Überprüfungen nicht einwandfrei sind. Alle Proben, die bei stillstehender Fahrzelle vorgenommen werden, sind unsicher. Ebenso scheiden alle diejenigen Proben aus, bei denen die Fangvorrichtung durch Ziehen am Reglerseil ausgelöst wird, da dadurch gerade der wichtigste Teil, die Auslösevorrichtung, von vornherein ausgeschaltet wird. Als einwandfrei dürfen nur solche Proben gelten, bei denen die Fahrzelle während der Fahrt mit Last von einem oder beiden Seilen plötzlich gelöst wird. [R 158]

Dr.-Ing. Gerold Weber.

Lichttechnik.

Der Entwurf von Innenraum-Beleuchtungen nach dem Ondracekschen Verfahren wurde in einer Sitzung der Lichttechnischen Gesellschaft, Karlsruhe, von Dipl.-Ing. Weigel behandelt. Die zurzeit üblichen Verfahren zur Berechnung der Innenraumbeleuchtung schließen größtenteils beträchtliche Fehlerquellen in sich, weil die einfachen exakten Berechnungsformeln, wie Punktbeleuchtungs- oder Flächenbeleuchtungsformel, die nur für punktförmige Lichtquellen angewandt werden dürfen, nicht mehr genügen; die den Raum begrenzenden Wände und die Decke, die als Rückstrahler einen beträchtlichen Beitrag zur Raumbeleuchtung liefern, sind großflächige Strahler.

Ein Stück aus einer ausgedehnten leuchtenden Fläche, etwa aus der rückstrahlenden weißen Decke, liefert nach einem beliebigen Punkt des Raumes, z. B. einem Punkt der Meßebene, eine zerstreute (diffuse) Beleuchtung, die sich, wenn das Flächenstück im Vergleich zu der Entfernung des beleuchteten Punktes klein ist, nach dem Lambertschen $\cos i$-$\cos \varepsilon$-Gesetz berechnen läßt. Dabei wird allerdings vorausgesetzt, daß die Fläche nach dem Lambertschen Gesetz von der vollkommen zerstreuten Strahlung zurückstrahlt. Dies ist in den meisten Fällen insbesondere bei der weißgestrichenen und im allgemeinen den Hauptteil zerstreuter Beleuchtung liefernden Decke praktisch hinreichend genau erfüllt.

Das Lambertsche $\cos i$-$\cos \varepsilon$-Gesetz, das die Form $E_d = \frac{e\,f \cos i \cos \varepsilon}{r^2}$ hat, läßt sich zufolge einer einfachen mathematisch-geometrischen Überlegung umformen in $E_d = e\,\omega_p$. Darin ist E_d, die in irgendeinem Punkte durch die mit der Leuchtdichte e zerstreut strahlende Fläche hervorgebrachte Beleuchtungsstärke. ω bedeutet den Raumwinkel, der entsteht durch den vom beleuchteten Punkt nach der Umrandung des leuchtenden Flächenstückes sich erstreckenden Kegel und der gemessen wird als das durch diesen Kegel auf der Einheitskugel ausgeschnittene Oberflächenstück. ω_p aber ist die Projektion dieses Raumwinkels auf die Ebene, innerhalb welcher der beleuchtete Punkt liegt. Auf Grund der Beziehung $E_d = e\,\omega_p$ kann[1]) mittels des Raumwinkelmeßgerätes (Raumwinkelkugel) oder des Raumwinkelpapieres von Prof. Teichmüller[2]) und mittels einer von Ondracek ausgerechneten Zahlentafel, die die Größen der Raumwinkelprojektionen für alle Zonen der Teichmüllerschen Raumwinkelkugel enthält, die von einer zerstreut leuchtenden Fläche in irgendeinem Punkt außerhalb dieser Fläche erzeugte Beleuchtungsstärke rechnerisch ermittelt werden.

Im Lichttechnischen Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe wurde für das weiße Laboratorium — einen Raum mit weißer Decke und weißen Wänden — die Beleuchtungsverteilung innerhalb der Meßebene bei Anwendung von verschiedenen praktischen Lampen (halbmittelbar und ganzmittelbar wirkende) nach dem Teichmüller-Ondracekschen Verfahren ermittelt und die rechnerischen Ergebnisse mit im weißen Laboratorium ausgeführten photometrischen Messungen verglichen. Die Berechnungen wurden ausgeführt unter Anwendung des sehr einfach und sicher zu handhabenden Teichmüllerschen Raumwinkelpapiers, das sowohl den unmittelbaren Anteil z. B. der Meßebenenbeleuchtung, als auch mittels der Ondracekschen Zahlentafel den mittelbar zerstreut von Decke und Wänden zurückgestrahlten Anteil zu ermitteln gestattet. Da Decke und Wände nicht gleichmäßig beleuchtet sind — die der Lampe näher liegenden Teile sind stärker als die entfernter liegenden beleuchtet — so bleibt sich die

[1]) Zeitschr. für Beleuchtungswesen 1922 Heft 9 und 10.
[2]) Journal für Gasbeleuchtung 1918 Heft 20.

Leuchtdichte e der rückstrahlenden Ebene nicht über die ganze Fläche gleich, und man muß bei ganz genauer Berechnung eine Unterteilung der rückstrahlenden Fläche in Flächenstücke solcher Größe vornehmen, daß die Leuchtdichte innerhalb eines solchen Flächenteiles als gleichbleibende betrachtet werden kann. Die Leuchtdichte eines Flächenteiles wird aus der auf das Flächenstück eingestrahlten Beleuchtungsstärke E_i, die nach der Punktbeleuchtungsformel oder einfacher nach dem Teichmüllerschen Raumwinkelverfahren berechnet werden kann, gefunden, und zwar nach der Formel $e = \frac{E_i M}{\pi}$; M (das diffuse Reflexionsvermögen des rückstrahlenden Flächenstückes) kann gemessen oder in vielen Fällen aus Zahlentafeln entnommen werden.

Die Berechnung der zerstreuten Beleuchtung auf dem skizzierten genauen Wege ist, wie der Vortragende an der Hand seiner Arbeiten zeigte, außerordentlich umfangreich. Er hat daher versucht, für die ganze leuchtende Fläche, also z. B. die Decke, eine mittlere Leuchtdichte einzusetzen, berechnet aus der nach dem Teichmüllerschen Verfahren einfach und rasch zu findenden mittleren Deckenbeleuchtungsstärke. Dann wird das Berechnungsverfahren bedeutend vereinfacht und für den Entwerfenden geeignet. Den Einfluß der Wandrückstrahlung hat der Vortragende bei seinen Arbeiten mit Hilfe der Lansinghschen Formel[1]) berücksichtigt.

Der Entwurf der Beleuchtung von Innenräumen wäre nun nach dem Vorschlage des Vortragenden in der Weise vorzunehmen, daß die ungefähre Lampengröße und Lampenzahl nach einem einfachen Verfahren, etwa der sogenannten „Wattregel" von Heyck und Högener, bestimmt würde und dann mit Hilfe des angegebenen verkürzten Verfahrens die verschiedenen Möglichkeiten durchgeprüft würden.

Der Redner wies schließlich noch auf weitere Vereinfachungsmöglichkeiten des Verfahrens hin, und zwar insbesondere darauf, das Raumwinkelpapier in ein Papier der Raumgradprojektion umzubilden für wagerechte (Decke) und senkrechte (Wände) Ebenen. Auf diese Weise wäre alle Rechenarbeit auf ein äußerst geringes Maß gebracht, und es könnte der Aufnahme des Verfahrens in der Praxis kaum mehr etwas entgegenstehen.

Besonders hervorzuheben ist die Bedeutung des Ondracekschen Verfahrens in der auf die praktische Anwendung zugeschnittenen Form für die Tageslichtbeleuchtung, die sich bislang einer praktischen Berechnung fast gänzlich entzog, weil, wie eingangs erwähnt, Fenster und Glasdächer großflächige Leuchter sind. [M 100] R. W.

Meßgeräte.

Neue optische Meßgeräte[2]).

Die optischen Meßgeräte, die bei ihrer Einführung in den Betrieb immer mit einer gewissen Scheu betrachtet wurden, haben sich allmählich zum unentbehrlichen Hilfsmittel aller Industrien entwickelt, die den gesteigerten Anforderungen neuzeitlicher Herstellung gerecht werden müssen. Nachstehend sollen einige neue Meßgeräte der Firma Carl Zeiß, Jena, erläutert werden.

Abb. 7 zeigt schematisch die Einrichtung eines Meßgerätes, das zur Ermittlung der Ausdehnungszahl von Metallen und

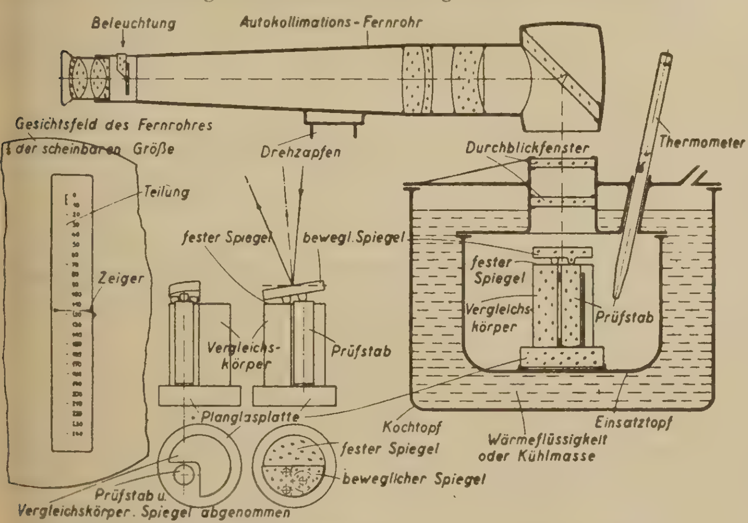


Abb. 7. Einrichtung des Meßgerätes für Wärmeausdehnungszahlen.

anderen festen Körpern dient. Man kann mit dem Gerät Messungen zwischen Zimmertemperatur und 100 °C und unter Verwendung von Kältemischungen auch bei tieferen Temperaturen ausführen. Ein aus dem zu prüfenden Werkstoff hergestellter zylindrischer Prüfstab von etwa 12 mm Dmr. und 50 mm Länge wird bei einer bestimmten Temperatursteigerung mit einem andern Körper von annähernd gleicher Länge und mit genau bekannter und unveränderlicher Ausdehnungszahl verglichen. Zu diesem Zwecke werden Prüfstab und Vergleichskörper auf eine Planglasplatte gestellt. Zwei halbkreisförmige Spiegelflächen, von denen die eine fest auf den Vergleichskörper aufgeschliffen, die andre mit einem Punkt auf dem Prüfstab, mit zwei andern auf dem Vergleichskörper ruht, müssen bei gleicher Länge von Prüfstab und Vergleichskörper parallel gerichtet sein. Wenn sich nun infolge von Temperaturänderungen der Prüfstab mehr ausdehnt als der Vergleichskörper, wird der bewegliche Spiegel gegenüber dem festen Spiegel geneigt. Die Größe der Neigung und damit die Ausdehnungszahl wird mit dem über dem Heiztopf schwenkbar angeordneten Autokollimationsfernrohr derart gemessen, daß die Lage des Zeigers die feste Spiegelfläche und die jeweilige Lage der Teilung im Gesichtsfeld die des beweglichen Spiegels ergibt. Man kann daher am Zeiger unmittelbar die Verlängerung des Prüfstabes gegenüber dem Vergleichskörper ablesen. Die Messungen können von Hilfspersonal ausgeführt werden. Die Genauigkeit der Messungen beträgt ± 0,0005.

Der schwierigen Messung von Innendurchmessern dient ein wagerechtes Optimeter mit Innenmeßeinrichtung nach Abb. 8. Der linke Träger der Innenmeßeinrichtung wird auf die Pinole, der rechte auf das Optimeter aufgeklemmt. Die Träger haben Drehachsen für den Einstell- und Meßbügel, die mit einer Seite mit der Ringlehre in Verbindung gebracht werden, während die andre Seite

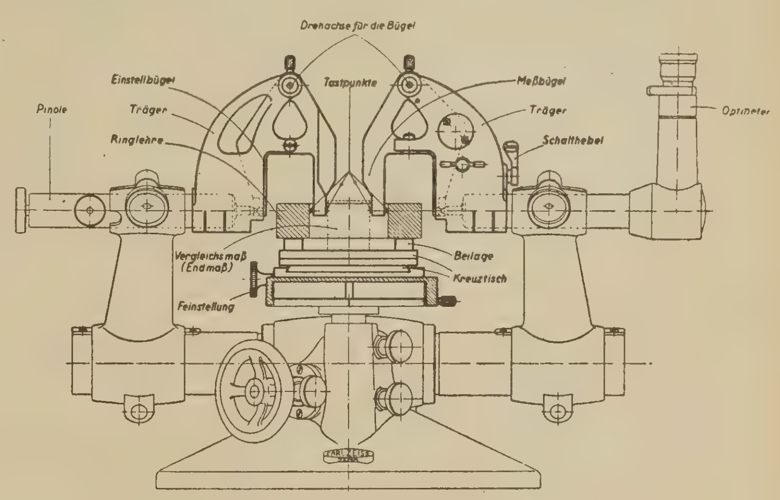


Abb. 8. Innenmeßeinrichtung.

des Einstellbügels mit dem Taststift der Pinole, die des Meßbügels mit dem Taststift des Optimeters in Berührung gebracht wird. Der Nenndurchmesser für Innenmessungen wird nun durch ein Vergleichsmaß eingestellt. Hierzu werden aus Parallelendmaßen zusammengesetzte Rachenlehren oder nur Parallelendmaße benutzt.

Im ersten Falle dienen die außenliegenden Tastpunkte auch unmittelbar zur Einstellung der Vergleichsmaße, während bei Verwendung von Parallelendungen ein Parallelendmaß gleich dem Nenndurchmesser minus zweimal dem Abstand eines innen und außen liegenden Tastpunktes so zwischen die innenliegenden Tastpunkte gelegt wird, bis das Optimeter 0 zeigt. Die hierzu notwendige Umschaltung des Meßdruckes, der in beiden Meßstellungen für Außen- und Innenmessungen gleich ist, besorgt der Schalthebel. Hierauf wird der Tisch mit der daraufliegenden Ringlehre so weit gehoben, bis die Tastpunkte innerhalb der Ringlehre liegen. Zur eindeutigen Ermittlung des größten Durchmessers dient der Kreuztisch, dessen einer Schlitten in der Meßrichtung schwimmend angeordnet ist, während der andre durch die Feinstellung senkrecht dazu bewegt wird. Außerdem kann der Tisch ohne Hinderung der andren Bewegungen um seine Achse gedreht werden. Die Verwendung von besonderen Tastpunkten für kleine Durchmesser und Kugellaufring-Messungen ist dadurch ermöglicht, daß die Tastpunkte wie auch die Einstell- und Meßbügel leicht ausgewechselt werden können. Da nach dem von Prof. Abbe aufgestellten Grundsatz Meß- und Teilungsachse in einer Linie liegen, läßt sich bequem eine Meßgenauigkeit von 0,001 mm erreichen. („Maschinenbau" Bd. 3 vom 14. Februar 1924.) [R 212] Sd.

Verschiedenes.

Über einen bedauerlichen Mißbrauch des Wortes „Spirale" in der deutschen Technik.

Wenn man wissen will, was man sich unter einer „Spiralfeder" vorzustellen hat, so muß man zunächst ein englisches Wörterbuch aufschlagen und daraus lernen, daß „spiral" im Englischen schraubenartig oder gewunden bedeutet. Deshalb stellen wir uns in der deutschen Technik unter einer Spiralfeder gewöhnlich eine zylindrische Schraubenfeder vor. Geht man in die mechanischen Werkstätten und verlangt von einem Ingenieur, Werkmeister oder Mechaniker eine Spiralfeder, so erhält man todsicher eine zylindrische Schraubenfeder. Weitere Proben eines unverständlichen Mißbrauches des Wortes „Spirale" in der deutschen Technik liefern die Wortbildungen Spiralbohrer, Spiraltrommel, Förderspirale, Spiraldrahtlampe u. a.

Aufgefallen ist der Fehler schon manchen, namentlich den Bearbeitern der Hütte, des Lexikons der gesamten Technik, Otto Lueger, und des Meyerschen Konversationslexikons[3]). Im Abschnitt IV der

[1]) Elektr. und Maschinenbau Bd. 38 (1920) S. 599.
[2]) Vergl. a. Z. Bd. 65 (1921) S. 589 u. f.

[3]) Unsere Zeitschrift bemüht sich seit vielen Jahren, der „Schraube" zu ihrem Recht zu verhelfen. Die Schriftleitung.

Hütte, der über Festigkeit von Federn handelt, wird sogar ganz streng die Spiralfeder von der Schraubenfeder unterschieden, an andern Stellen läßt man aber die unrichtigen Wortverbindungen mit Spirale bestehen. Auch im Lexikon der gesamten Technik wird man ganz richtig unter „Spiralfeder" auf die Feder an der Unruhe der Uhr verwiesen. Aber an andrer Stelle unter „Bohrer" wird man belehrt, daß man sich unter einem Spiralbohrer einen schraubenartig gefurchten Metallbohrer vorzustellen habe, den zuerst die Amerikaner erfunden hätten.

Nachdem man für die zylindrische Schraubenfeder die Bezeichnung Spiralfeder zugelassen hatte, denn wenn man eine wirkliche Spiralfeder haben will, muß man schon hinzufügen: so eine wie an der Unruhe der Uhren, war es auch kein Wunder, daß andre Spiralblüten auftauchten, sehr zum Ärger mancher Leute, die einen Sinn für vernünftige Namengebung haben. Die neueste dieser sinnwidrigen Bildungen ist die Bezeichnung „Spiraldrahtlampe". Gelegentlich der Normung der im Zeißwerk Jena gebräuchlichen Glühlampen hat Herr Dr. Villiger, Leiter der Abteilung für astronomische Fernrohre des Zeißwerkes, darauf hingewiesen, daß doch die Bezeichnung Spirale für die schraubenförmig gewickelten Glühdrähte falsch sei. Der Normeningenieur des Zeißwerkes hat sich daraufhin mit dem Normenausschuß der deutschen Industrie in Verbindung gesetzt. Dieser hat die Osram-Gesellschaft verständigt und von ihr die Auskunft erhalten, daß sie schon selbst wiederholt gegen die sinnwidrige Bezeichnung angekämpft hätte, aber keinen Erfolg gehabt hätte. Der NDI hat darauf angeregt, es möchte zunächst in den Fachzeitschriften auf den Mißbrauch des Wortes Spirale hingewiesen und so der Boden für eine Säuberung vorbereitet werden. Ich hoffe, daß jeder Leser dieser Zeilen sein Teil dazu beitragen wird, die falschen Wortverbindungen mit „Spirale" aus der deutschen Technik herauszubringen.

Jena. [M 199] Dr. A. Sonnefeld.

Chronik 1923; Luftfahrt.

Berichtigung: Zu dem Satz „Die Junkers Flugzeug-Werke A.-G. haben für ihren Bedarf den 185 PS-Motor der Bayerischen Motoren-Werke nachgebaut" im Bericht Z. Bd. 68 (1924) S. 59 teilen uns die Bayerischen Motoren-Werke A.-G., München, mit, daß die Junkers-Flugzeug-Werke niemals das Recht zum Nachbau des 185 PS-Motors der Bayerischen Motoren-Werke erworben, sondern nur aus gewissen Gründen für eine ganz kleine Anzahl von den Bayerischen Motoren-Werken gebauter Motoren das Recht erhalten haben, diese Motoren Junkers-Motoren zu nennen.

Von dem Verfasser des fraglichen Berichtes, Prof. Dr.-Ing. Hoff, Berlin-Adlershof, erhalten wir hierzu noch folgende Mitteilung: „Die Junkers-Flugzeugwerke A.-G. haben keine 185 PS-BMW-Motoren gebaut. Die von der Forschungsanstalt Professor Junkers fabrizierten normalen Flugmotoren entsprechen zwar den genannten Motoren, jedoch finden keinerlei Schutzrechte der BMW an ihnen Verwendung. Diese Motoren werden als Junkers-Motoren Muster L 2 bezeichnet. [M 253]

Berichtigung.

In dem Aufsatz von F. Meineke über „Neuere Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn" muß es auf S. 274, rechte Spalte, nach dem zweiten Absatz unter Zahlentafel 2 anstatt „explodierende" „oxydierende Wirkung auf die Rohrbördel" heißen. Ein weiterer Druckfehler befindet sich auf S. 276, linke Spalte. Dort muß die angenäherte Gleichung für $\frac{P_o}{P_u}$ lauten:

$$\frac{P_o}{P_u} = \sim \frac{o+u}{o} - 1.$$

[M 200]

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4a, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Psychologie des Betriebes. Beiträge zur Betriebsorganisation. Von Dr. E. Lysinski, Dozent an der Handels-Hochschule Mannheim. Berlin 1923, Industrieverlag Spaeth & Linde.

Nach einer kurzen Einleitung über die Entstehung, Aufgaben und Methoden der Betriebspsychologie behandelt der Verfasser sein Thema in zwei großen Teilen: die Psychologie der Betriebsarbeit und die Psychologie der Reklame. Die drei Abschnitte des ersten Teiles sind der historischen Betrachtung, Taylor und Dill Scott, der theoretischen Arbeitspsychologie und der praktischen Arbeitspsychologie, die den breitesten Teil einnimmt, gewidmet. Im zweiten Teil werden zuerst die allgemeinen Grundlagen der Reklame in rein theoretischer Zergliederung entwickelt, worauf im zweiten und dritten Abschnitte die für die Werbearbeit notwendigen Elemente besprochen, auf ihre Wirkung hin untersucht und mit entsprechenden Beispielen belegt werden. Der vierte Abschnitt enthält die eigentlichen praktischen Betrachtungen und Ergebnisse der Reklameforschung.

Aus dem Titel und aus dieser Einteilung könnte der Leser folgern, daß sich der „Betrieb" aus den zwei Grundgrößen Betriebsarbeit und Reklame zusammensetzt, um so mehr, als an keiner Stelle die Aufklärung gegeben wird, daß die ungeheure Größe „Betrieb" nur zum kleineren Teil aus der Betriebsarbeit des Menschen besteht, wenigstens in der Form, die der Psychologe sieht, daß aber anderseits die vielleicht bald ebenso umfassende Größe „Reklame" mit dem Betrieb nur insofern ganz losen Zusammenhang hat, als sie auch der Produktion dient. Mit dieser eigenartigen Titelwahl deckt sich auch die Behandlung des Stoffes. Entsprechend der ganz getrennten Entstehung des Gebietes, das heute als Psychotechnik angesprochen wird, werden nebeneinander die auf rein psychologischer Seite wie die auf rein betriebsmäßiger Seite gewonnenen bis heute noch sehr unvollständigen Erfahrungen nebeneinander gestellt, wie sich aus der Betrachtung des 1. und 2. Abschnittes gegenüber dem 3. Abschnitt deutlich zeigt. In keiner Weise ist eine Brücke zwischen den angeführten Einzelforschungen und den ins Praktische übersetzten theoretischen Betrachtungen gegeben, wie sich aus der einfach beschreibenden Wiedergabe der bekannten Bilder von Moede und Tramm zeigt. Mir erscheint der erste Teil als ein Bericht über die wichtigsten Arbeiten auf diesem Gebiete, die alle nur den Menschen in bezug auf die Arbeit behandeln, aber keinesfalls den „Betrieb" darstellen, der neben dem Menschen auch das Material, roh und fertig, die Maschinen, gesund und krank, und die Beziehungen beider zum Menschen enthält, von der Bewegung ganz abgesehen, die aus diesen drei Größen erst den Betrieb geschaffen hat.

Im Gegensatz dazu zeigt die Behandlung des zweiten Teiles, der Reklame, die zweite Richtung in ihrem ganzen Aufbau. Der Psychologe, entstanden nicht aus dem Betriebsmann, sondern aus dem Theoretiker der Logik und Philosophie, schafft erst ein ganzes System von Merkmalen, Vorstellungen und Handlungen, die alle in Beziehung zur Sammelgröße „Reklame" stehen, und entwickelt daraus die Gesichtspunkte, nach denen er die Reklame und ihre Grundgrößen beurteilt. Dementsprechend enthält dieser Teil im Gegensatz zum ersten fast gar keine Versuche, Berichte oder geschichtliche Rückblicke, und nur zuletzt werden induktive Versuche im Gegensatz zu den rein deduktiven Versuchen des ersten Teiles angeführt.

Auf den Betriebsmann, der gewohnt ist, mit realen Größen, den Menschen eingerechnet, zu arbeiten, wirkt der umfassende Titel verwirrend, wenn er beim Studium findet, daß die Behandlung aller Fragen, die mit dem Betrieb zu tun haben, aber keineswegs den Betrieb darstellen, noch in den Kinderschuhen steckt, daß die großen Versuchsreihen zumeist fehlen, die jede andere Wissenschaft der Verallgemeinerung ihrer Forschungen voranschickt.

[B 232] Kurrein.

Die Auftragsorganisation insbesondere der Klein- und Mittelbetriebe. Von Dr.-Ing. A. Winkel. Kempten 1923, Josef Kösel und Friedrich Pustet. 38 S. mit 14 Taf.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern. 3. Bd., 1. Heft. Herausgegeben von Prof. Dr. C. D. Harries. Berlin 1923, Julius Springer. 255 S. mit 204 Abb.

Auch der dritte Band dieser beachtenswerten Sammlung von Forschungsarbeiten, die im Siemens-Konzern ausgeführt worden sind, ist wie die früheren Bände sehr reichhaltig. Gebracht werden 21 Arbeiten; die größte Anzahl hiervon liegt auf dem Gebiete der Elektrotechnik (Vektoranalytische Berechnung von Transformatoren und Asynchronmotoren, Theorie des Gleichrichters, Ortskurven und Zustandsdiagramme eines Wechselstromkreises, Wechselspannungen an Einankerumformern, dauernde Sinusschwingungen in einem Kabel und andere); einige Arbeiten behandeln die Akustik (Messung von Schalldruckamplituden), die Optik (Zeitbegriff in der Photometrie), die Wärmelehre (Wärmewanderung in Zylindern), die Festigkeitslehre (Verfestigung der Metalle), die Metalltechnik (Konstitution des Messings) und Chemie (Schellack und Kautschuk). Auf die Arbeiten im einzelnen einzugehen würde zu weit führen.

Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. Herausgegeben von dem Generalsekretariat des V. D. E. nach dem Stande am 31. Dezember 1922. 11. Aufl., Berlin 1923, Julius Springer. 559 S. mit Abb.

Der Sammelband enthält sämtliche vom Verbande Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Vorschriften, Leitsätze, Merkblätter, Richtlinien und dergl. sowie die bis Anfang 1923 aufgestellten Normen und ein Verzeichnis der Normblätter. Die außerordentlich große Fülle und Verschiedenheit des Stoffes erschwert eine übersichtliche Anordnung, ein Übelstand, der indessen durch das Inhaltverzeichnis und ein sorgfältig durchgearbeitetes Sachverzeichnis gut ausgeglichen wird. Die Sammlung ist für alle Fachleute, die mit elektrischen Anlagen, Maschinen und Geräten irgendwelcher Art zu tun haben, sei es als Hersteller, als Bezieher oder im Betriebe, von größter Wichtigkeit.

Bund der Elektrizitätswerke in den angeschl. Gebieten Rumäniens: **Statistik 1922.** Hermannstadt (Jibriu) 1923, Selbstverlag des Bundes.

Kleine Literaturführer Bd. 5: **Die besten deutschen Memoiren,** Lebenserinnerungen und Selbstbiographien aus sieben Jahrhunderten. Von M. Westphal. 423 S. Preis Gz. 3,50. Bd. 6: **Kunstgeschichte und Kunstwissenschaft.** Von W. Timmling. Leipzig 1923, Kochler & Volkmar A.-G. & Co. 304 S. Preis Gz. 3.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE
★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★
NR. 17 SONNABEND, 26. APRIL 1924 BD. 68

INHALT:

Menschenwirtschaft.

Von Dr.-Ing. Adolf Friedrich, Hannover[1].

Wirtschaft bedingt Arbeitsgestaltung,
Arbeit und Mensch in Einklang zu bringen, ist die
Lebensfrage unserer Entwicklung.

Menschenwirtschaft erhebt als Forderung Achtung vor menschlicher Kraft. Sie stellt den Menschen als Träger allen Schaffens an die Spitze der Arbeitsbetrachtung und sucht die Frage der Betriebsleitung und Organisation vom menschlichen Standpunkt aus zu lösen. Technik ist Hilfsmittel des Menschen und hat sich dessen Kräften an erster Stelle anzupassen. Ziel jedes Lebens ist Reifung, Erstarkung, und ein Schaffen kann nur dann wertvoll sein, wenn der Mensch in der Arbeit höher wächst. Beherrschung, nicht Bedienung der Arbeitsmittel tut not!

Organisation ist Zusammenfassung aller Kräfte zu einem Ziel. So ist klare Zielsetzung unbedingte Grundlage aller wirtschaftlichen Zusammenarbeit. Wie die Zielstrebigkeit des Menschen sein Schaffen beeinflußt, wie verschiedene Menschen mit gleich großen Kräften bei Streben nach einem hohen Ziel Höchstes leisten, bei Zersplitterung oder falscher Zielrichtung aber verkümmern, so gilt das Gleiche in Wirtschaft und Staat.

Menschenertüchtigung war das Hochziel früherer Zeiten, materielle Wirtschaftlichkeit das unsere. Hier liegt unser Denkfehler, die Selbstvernichtung.

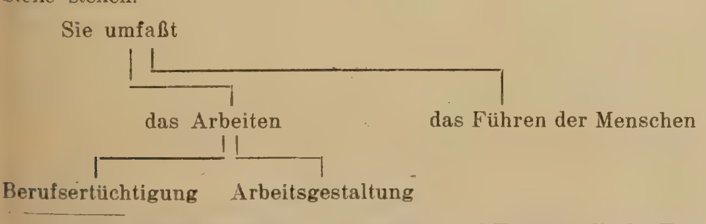
Materielle Wirtschaftlichkeit ist farblos, weder gut noch schlecht, und erst die Anwendung zu einem höheren Ziel oder zur Vernichtung entscheidet über ihren Wert. Materielle Wirtschaftlichkeit kann niemals Endziel sein, ebensowenig wie Gütererzeugung, sondern Hilfsmittel zu menschlicher Entwicklung. Gütererzeugung ist für den Menschen da, und ein Denkfehler muß dort vorliegen, wo die Menschen die Arbeit an den Dingen hassen, die sie zu ihrem Leben gebrauchen. Gehaßte Arbeit ist unproduktiv, menschlich und sachlich.

Nur Harmonie, Reibungslosigkeit ist wertvoll.

Höchste Wirtschaftlichkeit ist notwendig, aber für den Menschen, und ein Trugschluß ist es, Produktivität anzunehmen, wenn Sachwerte gehäuft, menschliche Kräfte aber abgebaut oder abgebremst werden. Wirtschaftlichkeit ist Auswirkung aller Kräfte bei steigender Entwicklung. Raubbau ist unproduktiv, trotz kurzer Blendwirkungen.

Menschen sind Träger allen Schaffens.

Deshalb muß Menschenwirtschaft[2]) an erster Stelle stehen.



[1]) Dieser Aufsatz enthält die Grundlage für zwei Vorträge, die der Verfasser im Rahmen der diesjährigen Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure halten wird.

[2]) Die zusammenfassenden Darlegungen gründen sich auf die praktischen Arbeiten des Verfassers in der Eisenindustrie, Textil- und Spezialindustrie sowie im Verkehrswesen.

Das Arbeiten.

Arbeit ist Auswirkung menschlicher Kraft. Schaffen ist Naturgesetz wie das Wachsen und Fruchttragen der Pflanzen. Also ist Arbeit und Mensch vereinbar. Die Arbeit ist Abbild des Menschen. Je klarer, zielstrebiger und geschulter die schaffenden Menschen, desto besser die Arbeit.

Technik ist Zusammenfassung von Naturgesetzen. Diese Zusammenfassungen zu erfinden, ist wiederum Sache des Menschen. Technische Gestaltung und Fertigung ist Menschentat, — so ist Wirtschaft letzten Endes Menschenwirtschaft.

Arbeit ist Auswirkung menschlicher Kraft. Zweck des Lebens ist nicht Arbeit, sondern Frucht des Schaffens, das ebenso lebensnotwendig ist wie das Atmen. Menschen, die ihren Kraftstrom abbremsen, betrügen sich selbst am meisten, wie jemand, der, um seinem Arbeitgeber zu schaden, sich die Hände abschlagen ließe. Kraft ohne normalen Abfluß zerstört, sucht andre Auswirkung, wie ein abgeschlossener Kessel explodiert. Deshalb ist Grundbedingung: menschliches Können und Arbeitsform in Einklang zu bringen in Berufsertüchtigung und Arbeitsgestaltung.

Berufsertüchtigung.

Keinem Staate würde es einfallen, nur die Konstruktion der Brücken oder Geschütze zu verbessern und die Mannschaften der Pionier- und Artillerietruppe oberflächlich zu unterrichten, d. h. Technik zu gestalten und den Menschen sich selbst zu überlassen. In unsrer Industrie geschieht dies meistens, und abgesehen von der Lehrlingsausbildung findet darin die große Arbeitermenge keine Beachtung.

Nur die besten Arbeitsarten sind produktiv, und ungeheure Werte werden dadurch verschlungen, daß jeder Neuling wieder gezwungen ist, in langen Jahren aus zufällig richtigen Handlungen zwischen kostspieligen Fehlschlägen Erfahrungen zu sammeln. Fast jeder Praktiker behauptet, seine Fertigkeit „im Gefühl“ zu haben und zeigt dem Neuling nur oberflächlich — wenn auch oft mit gutem Willen — Äußerlichkeiten, mit denen nichts anzufangen ist. Die Folge ist Nachahmung der Handlung ohne inneres Verstehen, Vortäuschen einer Leistung ohne Können: Scheinarbeit und Selbstbetrug.

Im Unterbewußten aber frißt das Gefühl der Minderwertigkeit. Um es zu übertönen, überhebt der Mensch seine Leistung nach außen; denn nur derjenige zeigt Überhebung, der keine Taten bringen, sondern nur Trugbilder oder Minderleistungen

geben kann. Und noch eins: Wie ein Kind die Eltern haßt, die es unnötig früh ohne Erziehung und Schulung in den Lebenskampf stießen, so haßt der Arbeiter den Vorgesetzten, der ihn ohne ausreichende Schulung in den Arbeitskampf stellt. Nicht bedienen soll der Mensch die Arbeitsmittel, meistern soll er sie!

Der Weg zur Durchführung der Berufsertüchtigung ist:

a) Berufsbetrachtung — Analyse[1]),
b) Ausarbeitung der Arbeitsanweisungen,
c) Gestaltung der besten Hilfsmittel,
d) Aufbau der Übungsfolgen und Durchbildung der Übungsgeräte,
e) Übung der Berufstätigen nach vorhergehender Fähigkeitsfeststellung.

Die Berufsbetrachtung zeigt
den normalen Arbeitsverlauf und
die möglichen Schwierigkeiten, Störungen und Gefahren.

Der gesamte Arbeitsverlauf ist eine Kette von Beziehungen zwischen menschlichen Handlungen und Wirkungen des Materials (des Stoffs).

Beispiele der Praxis.

1. Schleifer einer Welle auf der Rundschleifbank.
   a) Der Schleifer mißt den Durchmesser mit Rachenlehre und richtet nach dem dabei auftretenden Gelenkempfinden seine Zustellung ein.
   Beziehung:
   Gängigkeit nach Maßgabe des Gelenkempfindens } Maß der Zustellung.
   b) Der Schleifer wählt die Zustellung nach der Funkengarbe.
   Beziehung:
   Funkengarbe — Maß der Zustellung.
2. Herausnehmen glühender Stähle aus dem Härteofen. Der Härter nimmt bei bestimmter Glühfarbe den Stahl aus dem Ofen.
   Beziehung:
   Materialart, Glühfarbe (Temperaturzahl) } Zeitpunkt des Herausnehmens.
3. Verstellen der Fadenspannung an den Spinnmaschinen. Die Spinnerin beobachtet die Weite des von dem Faden gebildeten Kegels nach dem Augenmaß und stellt dessen Spannung richtig ein.
   Beziehung:
   Kegelform, Spannung } Größe der Spannungsveränderung.

Der normale Arbeitsverlauf wird zergliedert in die zeitlich aufeinanderfolgenden Unterarbeiten, ähnlich wie es bei den Arbeitsgängen der Akkordvorbereitung geschieht. Oft ist der normale Arbeitsverlauf geringfügig gegenüber den möglichen Schwierigkeiten (z. B. bei Formern, Schmelzern). Jede Arbeitschwierigkeit hat beste Beseitigungsmöglichkeiten. Sie festzulegen und zur Schulung zu übermitteln, ist Zweck der Arbeitsanweisung. Nur so kann vermieden werden, daß jeder Einzelne erst an seinen eigenen Fehlschlägen lernt.

Beispiele typischer Schwierigkeiten:

Beruf Bohrer	Abbrechen des Bohrers in der Bohrung.
„ Schweißer	Überspringen des Funkens zur Acetylenflasche.
„ Revolverbankeinrichter	Störung des maschinellen Ablaufs.

Zur Beseitigung der Schwierigkeiten gehört das bestentsprechende Werkzeug, auch dies ist von vornherein in die Schulung zu übernehmen.

Berufsbetrachtung ergibt meist als erste Folge eine Verbesserung des Arbeitsverfahrens. Aufgabe des Betriebsingenieurs ist es, das Fabrikationsprogramm durchzuführen, Aufgabe des Arbeitsuntersuchers, allen Fehlern bis zur letzten Ursache nachzugehen. Hieraus ergibt sich die zweifache Verwendung der Analyse: einerseits zur Arbeitsgestaltung und Stücklohnbemessung, anderseits zur Schulung. Die Analyse zeigt den Fertigungsgang innerhalb der Einzelarbeit, erst aus ihr werden die Zusammenhänge mit den Vor- und Nacharbeiten er-

[1]) Solche Analysen sind für die meisten Berufe der Hütten- und Walzwerke vorhanden, ferner für Metallbearbeitungswerkstätten, Berufe der Textilindustrie, von Spezialindustrien usw.

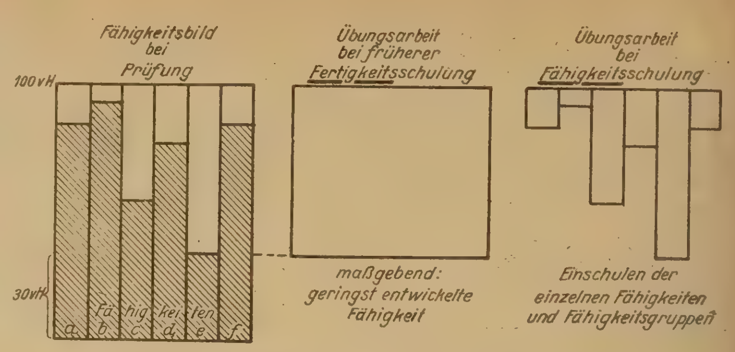


Abb. 1. Schematischer Vergleich der beiden Schulungsarten. Fähigkeitsschulung: Ergebnis der Durchführung in der Praxis. Anlerngewinn bis 66 vH. Folge: Sichere Arbeitsausführung in optimaler Zeit. Fähigkeitsschulung ist in gleicher Weise wie für die Werkstattberufe auch für alle andern Berufe anwendbar.

sichtlich und geben Anhaltpunkte für den Aufbau der Arbeitsgruppe, Raumanordnung, Konstruktion der Maschinen sowie über die verlangte Art der Menschen. Unmöglich ist es, einen klaren Stücklohn ohne Analyse aufzustellen; denn in der Arbeitsfolge liegen oft Fehler und Umwege, die bei der Unterteilung ohne weiteres zutage treten, bei der Gesamtbetrachtung aber nicht sichtbar sind. Arbeitsteilung und Arbeitsgruppierung ist erst auf Grund einer Analyse möglich, da erst in der Arbeitzerlegung die Gleichartigkeit oder Ungleichartigkeit der Arbeiten erkenntlich ist.

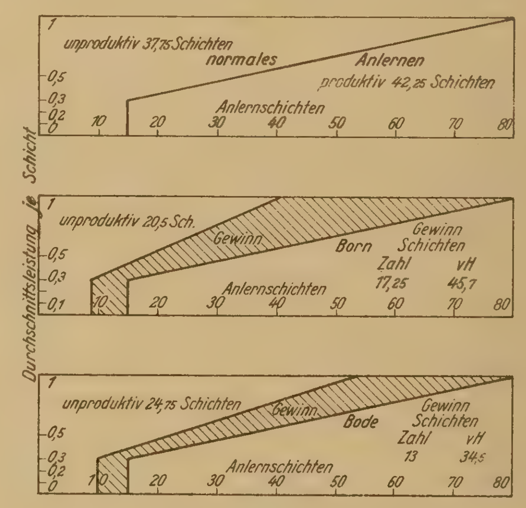


Abb. 2. Tatsächlicher Gewinn durch psychotechnisches Anlernen bei zwei Feinschleifern.

Die Analyse der menschenwirtschaftlich eingestellten Organisation geht insofern einen Schritt weiter, als von dem Analytiker, der in der Metallindustrie meist der Betriebsingenieur ist, den einzelnen berufswichtigen Untertätigkeiten die entsprechenden Fähigkeiten und Fähigkeitsgruppen hinzugefügt werden. Dies ermöglicht Einschränkung der menschlichen Kräfte bei Neueinrichtung und Umstellung. Außerdem ist es möglich, die Tätigkeiten mit zu hohen Berufsanforderungen zu erkennen und durch Abänderung des Arbeitsganges, Bildung von Hilfsmitteln und Schutzmitteln neue Bedingungen zu schaffen, die von einem größeren Angebot erfüllt werden. Die menschenwirtschaftlichen Analysen zeigen das beste Bild von der Wertigkeit der Berufe und geben dem Leiter den Überblick über die vorhandenen Betriebsbedingungen, mit denen die Menschenkräfte und Arbeitsmittel übereinstimmen müssen.

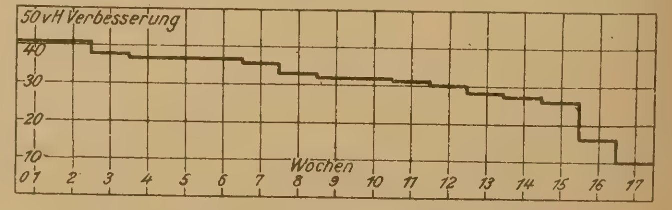


Abb. 3. Zeitverbesserung bei einer Reihe von Kranführern
Beispiel der Arbeitsverbesserung: Kranführer. An einer besonderen Übungsanordnung, die neben den sonstigen Geräten für die einzelnen Berufsfunktionen besteht, wird der ganze Berufskomplex vor und nach der Übung geprüft. Nach schon eintägiger Übung ergab sich eine Verbesserung der Fahrzeit um 30 vH in der Übungswerkstatt.

Übung unterscheidet

Fertigkeitsschulung und Fähigkeitsschulung

Beispiele:

Üben des Nietenstemmens als ganze Tätigkeit am Berufsplatz;	Üben der einzelnen Untertätigkeiten, Fähigkeitsgruppen und Fähigkeiten, die beim Nietenstemmen beteiligt sind.

Fähigkeiten sind die Grundlagen der Fertigkeit. Höchste Leistungsfähigkeit ist nur vorhanden, wenn die Fähigkeiten harmonisch abgestimmt sind, denn *eine* schlechte Fähigkeit vermag die ganze Fertigkeit zu verringern, wie eine Brücke nur so stark ist wie ihr schwächstes Glied.

Fähigkeitschulung ergänzt nur das Fehlende in den Fähigkeiten, Abb. 1, hier also zunächst e, dann c, während in der Fertigkeitschulung hier von 30 vH an alle, auch die guten Fähigkeiten wegen ihrer Verkupplung mitgeübt werden müßten. Folge der *Fähigkeitschulung* ist

- *kürzestes Anlernen, bis zu ⅓ der bisherigen Zeit*, Abb. 2, da weniger Anlernarbeit geleistet wird,
- *festes Einprägen der Fähigkeiten*, da jede Einzelfähigkeit bis zur notwendigen Höhe geübt wird,
- *Beherrschung der Arbeit*, somit handwerkliche Sicherheit, da jeder Einzelvorgang bekannt ist,
- *Leistungssteigerung* (geringerer Materialverschleiß und Kraftverbrauch), Abb. 3, nach Güte und Zeit infolge der erworbenen Arbeitsicherheit,
- *Kraftgewinn* (geringere Ermüdung).

Maßgebend für die Übung sind folgende Grundsätze:

Nur Selbsterarbeitetes haftet	Einarbeiten in die Berufsschwierigkeiten
Besiegbare Schwierigkeiten reizen an Zu große Schwierigkeiten entmutigen	Gestaffelte Leistungsfolge.

Staffelbarkeit und Leistungsvergleich werden durch Übungsgeräte erreicht, die mit einfachsten Mitteln hergestellt, die Wirklichkeit in ihren einzelnen Bedingungen wiedergeben.

Beispiel: *Nietenstemmer* (normaler Gang: symmetrischer Nietkopf), Abb. 4 bis 7.

Arbeitsgang	Besonders beteiligte Fähigkeiten	Übungsarbeiten
(Aus der Arbeitsanalyse)		
Ansetzen des Meißels in bestimmter Winkellage	Gelenkgedächtnis	Wiedereinstellen gleicher Meißelstellung, Abb. 4.
Ausführen des 1. Schlages:		
mit federndem Handgelenk	Handgelenkigkeit	Schlagübung am Schlagprüfer
auf den Kopf des Meißels	Zielsicherheit	Treffen von Punkten mit Zielhammer
in Richtung der Meißelachse	Richtungssicherheit	Ausführen senkrechter Schläge mit Richtungshammer
Bewahren der Schlagstärke:		
Abfühlen des Materialwiderstandes	Gelenkempfinden	Geraderichten der Lasche des Schmiedegerätes mit zwei Schlägen
Beobachten des heruntergezogenen Materiales	Augenmaß	
Ausführen des nächsten Schlages	Schlagwahl	
sodann		
Gleichschlag für die nächsten Schläge	Schlagwahl	Ausüben gleicher Schläge am Gleichschlaggerät
dabei		
Herumführen des Meißels:		
in gleicher Winkellage	Augenmaß Gelenkgedächtnis Handgeschicklichkeit	Herumführen des Meißels am Stemmergerät, Abb. 5
bei symmetrischer Kopfbildung	Augenmaß Handgeschicklichkeit	Arbeiten an Nietköpfen aus Plastilin mit Holzmeißel

Anmerkung: Übungsergebnis beim Anlernen gleichmäßiger Führung mit Zuschlagen am Stemmergerät, Abb. 5. Anschlagzahl bei dreimaligem Herumführen des Meißels um den Nietkopf. Am Anfang bis 90, am Abschluß 0 bis 4.

Unser industrielles Leben verlangt

Einschulen der angelernten Arbeiter,
Umschulen der gelernten Arbeiter in Spezialberufen,
Erziehen der Lehrlinge.

Die Fertigkeiten und Fähigkeiten der Menschen sind derart verschieden, daß es ein Unding ist, sie in ihrer Ausbildung willkürlich einem Vorarbeiter zu überlassen, der sein Arbeitsverfahren auf die eigenen Fähigkeiten eingestellt hat. Notwendig ist also,

die *beste Arbeitsart*,
angepaßt an die *Fähigkeiten des Einzelnen*,
in individuell angepaßter *Anlernfolge*,
durch einen besondern *Unterweiser* (Übungsleiter)

zu übermitteln.

Abb. 4 bis 7. Geräte für die Fähigkeitsschulung, gezeigt am Beispiel eines Nietenstemmers.

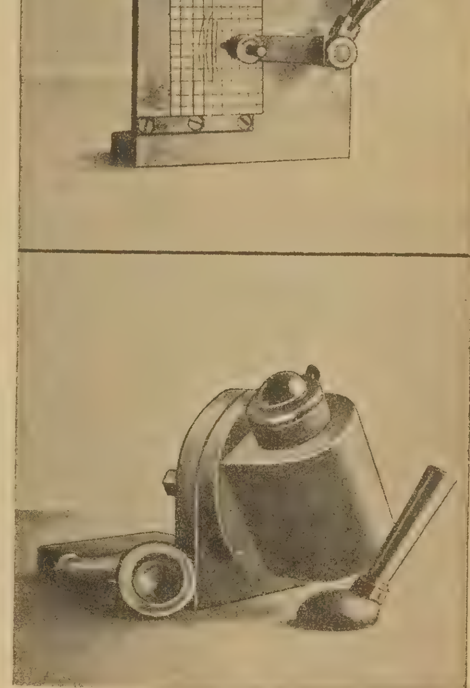


Abb. 4. Meißelrichter. Aufgabe: Einstellen der richtigen Winkellage 1. nach Augenmaß. 2. „ Gelenkgedächtnis.

Abb. 5. Gerät für Nietenstemmer. Aufgabe: Winkelgleiches Herumführen des Meißels nach Gelenkgedächtnis 1. bei Führung der Kugelhaube. 2. ohne Führung der Kugelhaube a) ohne Zuschlagen, b) mit „ Anfangsleistung bis 90 Anschläge bei dreimaligem Herumführen. Endleistung: 0—4 Anschläge nach rd. 10 tägiger Übung zu je 2 Stunden.

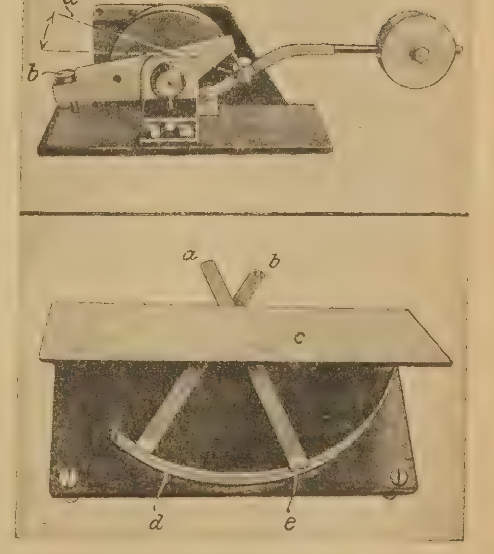
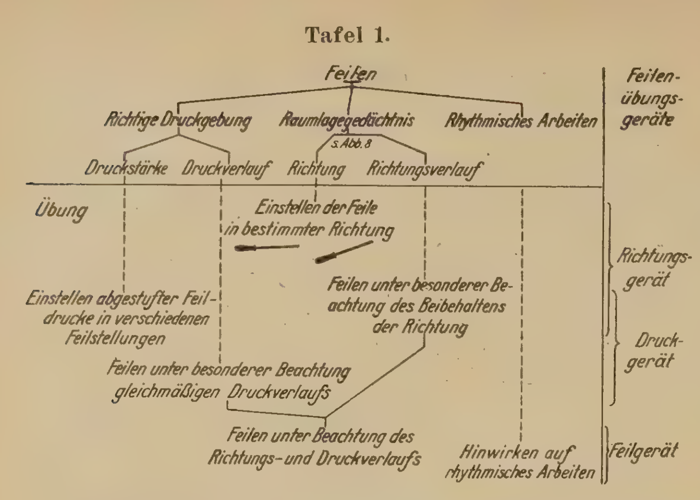


Abb. 6. Schmiedegerät. Aufgabe: Richten der Lasche in bestimmte Lage (meist wagerecht) mit zwei Schlägen: 1. Fühlschlag. 2. Richtschlag. Der Materialwiderstand wird verändert. a) Ausgangstelle der Lasche. b) Treffstelle.

Abb. 7. Winkelschätzer Aufgaben: Einstellen bestimmter Winkelstellungen an den Schaukeln a und b; c) Abdeckwand. d) Skala. e) Zeiger.

Tafel 1.



Fertigkeitschulung, die bisher meist am Berufsplatz üblich war, bleibt an der Oberfläche, vernachlässigt das Lebendige menschlichen Wesens, die Anpaßfähigkeit. Höchste Anpassung der menschlichen Fähigkeiten und der Arbeitsbedingungen ist aber Notwendigkeit. Wie bei turnerischer Leistung nicht die eingedrillte Fertigkeit einer ganzen Übung, bei Organisation nicht die eingedrillte Beherrschung eines Systems den Meister macht, wie es dort nötig ist, die einzelnen Muskeln und Fähigkeiten zu beherrschen bzw. jede Grundlage der Organisation zu verstehen und zu meistern, gilt das gleiche von jeder Arbeit.

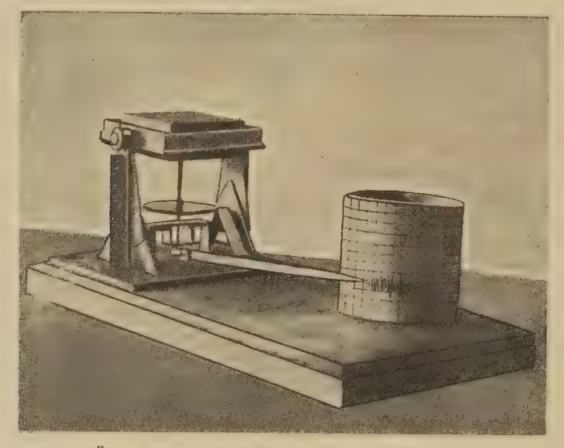


Abb. 8. Übungsgerät für gleichmäßiges Führen der Feile. Ergebniskurven s. Abb. 9 bis 18.

Fertigkeitsübung (Maschinenbedienung, Schmieden, Richten usw.) bringt uns in Gefahr, einen gebremsten Wagen ziehen zu lassen. Die Anwendung der Peitsche beseitigt nicht den Kraftverlust. In der Menschenführung fehlt uns die Exaktheit technischen Denkens. Weist eine Maschine Minderleistungen auf, gehen wir der letzten Ursache auf den Grund. Gleiches verlangt die menschliche Arbeit. Nicht d a ß jemand nicht feilen, richten, schmieden, drehen kann, interessiert uns allein, sondern w a r u m er es nicht kann, Tafel 1, Abb. 8 und 9 bis 18. Oft wird eine turnerische Fertigkeit deshalb schlecht ausgeführt, weil ein kleines Teilglied schlecht verstanden oder mangelhaft ausgeführt wird.

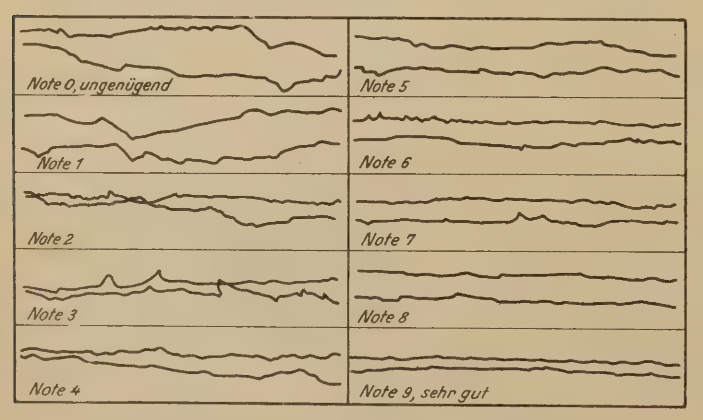


Abb. 9 bis 18. Werte aus den Übungen am Feilgerät, Abb. 8.

Mangelhafte technische Arbeit beruht meist auf ähnlichen Fehlern. Wie das Lösen einer Bremse weniger Arbeit erfordert, als das Voranzwingen eines gebremsten Wagens, ist vorheriges Abstimmen und Schulen der einzelnen Fähigkeiten wertvoller als Fertigkeitsdressur.

Menschenertüchtigung war das Ziel der antiken Völker, Arbeit verrichteten Sklaven. Die große, von keinem Volke restlos gelöste Aufgabe ist, Arbeit so zu gestalten, daß sich der Mensch an i h r ertüchtigt. Dazu aber ist Voraussetzung: Meisterung der eigenen Fähigkeiten, vollkommene Meisterung der Arbeit.

So setzen wir vor die Fertigkeitschulung oder parallel dazu die F ä h i g k e i t s c h u l u n g auf Grund des Berufbildes und der Fähigkeitsprüfung. Fähigkeitschulung bedeutet stärkste Ertüchtigung, Verstärkung aller berufsnotwendigen Fähigkeiten. Fähigkeitschulung führt stufenweise hoch und erhöht die Schwierigkeiten erst, wenn die vorherigen Aufgaben beherrscht werden. Durch deren Zerlegung aber sind sie so leicht und klar, daß dem Übenden die Arbeiten spielend übermittelt werden, die am Berufplatz schwierig erscheinen. Das Gefühl der Arbeitbeherrschung, das hier eingeprägt wird, ist von höchster Bedeutung. Ich habe stets die Wahrnehmung gemacht, daß die Berufstätigen nach der Fähigkeitschulung unvergleichlich besser die Anforderungen ihrer Arbeit überblickten und verstanden und sich oft selbst die Übungsgeräte aussuchten, durch die sie noch Vorteile hatten.

Die Fähigkeitschulung selbst ist intensivste Übung wie im Turnraum. Meist arbeiten 3 bis 5 Mann gleichzeitig unter Anweisung des Übungsleiters in dem von den Werkstätten abgetrennten Raum. Die Übungen werden einem Betriebsingenieur unterstellt, der menschenwirtschaftlich eingestellt sein muß, als Übungsleiter unterstützen ihn Techniker, Meister und dergleichen, die erzieherisch veranlagte, mitreißende und vorbildliche Leute sein müssen, Vorturnernaturen. Überhaupt soll ein frischer Sportgeist im Übungsraum herrschen, keine sanftmütige Milde.

Stets wieder habe ich in der praktischen Durchführung der Fähigkeitschulung Sportgeist wahrgenommen, der Freude an dem Besiegen der Schwierigkeiten, an der Aufstellung einer Bestleistung hat. Sind aber die Bahnen eingefahren, die Fähigkeiten geschult, dieselben, die am Berufplatz verlangt werden, so wendet der Geschulte das Erlernte auch in seiner Arbeit an, da es mehr Schwierigkeiten und Kraft erfordern würde, die eingefahrene Bahn zu verlassen und langsamer zu arbeiten.

Die Fähigkeitschulung erfolgt individuell. Nach der ersten Prüfung wird die Übungsfolge für den ersten Tag gegeben, der Betreffende wird angeleitet, arbeitet, wenn es sich um Werkstattätigkeiten handelt, an den selbstschreibenden Geräten und läßt erforderlichenfalls vom Übungsleiter eine Zwischenaufnahme machen. Nach zwei Stunden Übung, länger kann wegen der anstrengenden Intensität meist nicht geübt werden, wird eine Prüfung als Abschluß durchgeführt. Ebenso gehen die nächsten Übungstage vor sich in Wechselbeziehung zur Werkstatt, bis die notwendige Übung erreicht ist. Öfters wird den Leuten die Wahl der Geräte nach ihren eigenen Beobachtungen zwischendurch überlassen. Es wird darauf gesehen, daß als Abschluß der Fähigkeitschulung noch ein meßbarer Wirklichkeitsversuch durchgeführt wird (also Fertigkeit), z. B. bei Nieten, Feilen, Meißeln, Kranfahren, um den Übergang zur praktischen Betätigung stärker zu betonen.

Bei meinen mannigfachen menschenwirtschaftlichen Arbeiten bin ich in der Fähigkeitschulung seitens der Arbeiter nie auf Schwierigkeiten gestoßen. Es ist hier eben restlos möglich

das H e l f e n d e in der Ausbildung (ermüdungsfreieres Arbeiten)

mit der L e i s t u n g s s t e i g e r u n g

zu verbinden, Abb. 19 bis 23.

Bei allen Arbeiten ist zu bedenken, daß unsre

Triebkraft, Triebhaftigkeit

erst der Arbeitsfähigkeit die Möglichkeit zur Auswirkung gibt. Ein Vergleich würde Triebhaftigkeit dem elektrischen Strom, Arbeitsfähigkeit dem Motor parallel setzen. Eines ist ohne das andre zwecklos.

Triebhaftigkeit ist Teil unsres ureigensten Wesens, unsrer innersten Natur, die nicht der Zensur des Verstandes unterliegt. Triebhaftigkeit tut sich kund in Stunden des Unbewachtseins, der Trunkenheit, Ermattung, spiegelt sich z. T. wieder in Stetigkeit und Gewissenhaftigkeit. Deshalb müssen wir auf seine Gleichrichtung überall dort Gewicht legen, wo

Verantwortung ruht: bei Vorarbeitern, Meistern, Revisoren und allen Vorgesetzten. Den Faktor der Gewissenhaftigkeit aber erkennen wir überall, wo Güte und Zeit der Arbeitsbehandlung dem Einzelnen überlassen sind, am Berufplatze, im Prüf- und Übungsraum. Je schneller jemand schlechte Arbeit abliefert, um so flüchtiger wird er sein, um so geringer ist seine Gewissenhaftigkeit in der Arbeitserledigung: Faktoren, die vergleichbar sind.

Der Übung geht die Prüfung, die Fähigkeitsfeststellung vorauf. Von Rangzahlen wird abgesehen, ebenso wie es einem Ingenieur nicht einfällt, verschiedenartige Maschinen in eine Rangliste zu bringen.

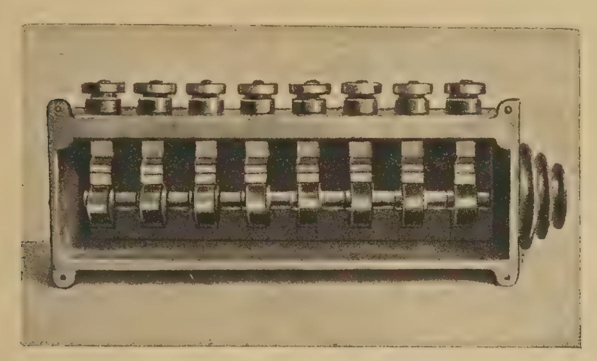


Abb. 19. Gerät zur Gehörschulung.
Aufgabe: Bestimmung von Ort und Stärke von Geräuschen.

Schwerpunkt der Fähigkeitsfeststellung ist Feststellung der starken Fähigkeiten, durch die der Mensch ertüchtigt werden kann, dazu der Anlernfähigkeit, die für die Übung von besonderer Bedeutung ist. Oft leisten Leute mit noch gering entwickelten Fähigkeiten und guter Anlernfähigkeit Ausgezeichnetes. Deshalb kann nie aus einem Mittelwert, sondern nur aus dem Gesamtbild beurteilt werden. Diese Wertung ist ebenso bedeutungsvoll wie die Kombination des Arztes. Sie kann nur erfolgen von Leuten, die Praxis und Menschenwirtschaft gleich beherrschen. Eignungsprüfung darf nicht teilen in geeignet und ungeeignet, sondern muß dazwischen schalten den größten Prozentsatz Anlernfähiger, angeben, wie Ertüchtigung zu erfolgen habe.

Schulung ist Erfahrungsübertragung, Übermittlung der besten Wege. Dies muß für allgemeine Fähigkeiten (Tastsinn, Augenmaß, Schlagwahl usw.) schon einsetzen in der Schule, hierbei gleichzeitig Grundlage zu helfender Berufsberatung geben unter Berücksichtigung verwandter Berufe. Im Lehrlingswesen und in der Fortbildungsschule haben dann fester umgrenzte Schulungen einzusetzen, wie auch für die Erwachsenen.

Unter den beiden Typen:

ausgesprochener Spezialist,
Mensch mit harmonisch abgestimmten Fähigkeiten, Abb. 24,

ist der letztere uns Vorbild, das unserm Begriff menschlicher Harmonie, als auch der Umstellnotwendigkeit unsrer Industrie gerecht wird. Unsre Fähigkeitschulung gestattet uns, in jeder der Fähigkeitsgruppen einen Bestwert zu erreichen und so Beweglichkeit zu bewahren.

Nicht um eine neue psychologische Technik handelt es sich, sondern um klare Anwendung dessen, was erfahrene Praktiker schon längst durchführten:

planmäßige Ausbildung und einzelpersönliche Berufsschulung.

So ist Fähigkeitschulung die Anwendung praktisch erprobter Verfahren nach bewußtem Plan, abseits vom Fertigungsgang, geleitet von Praktikern, die Menschen und tüchtige Berufleute sind.

Berufertüchtigung ist unerläßliche Vorbedingung für Produktivität; denn nur derjenige, der allen Schwierigkeiten schnell und sicher begegnen kann, vermag höchste Leistung zu erbringen.

Arbeitsgestaltung.

Der Menschenertüchtigung entspricht auf der andern Seite die Arbeitsgestaltung, die Vereinfachung der Arbeitsbedingungen, die Anpassung der Arbeit an den Menschen.

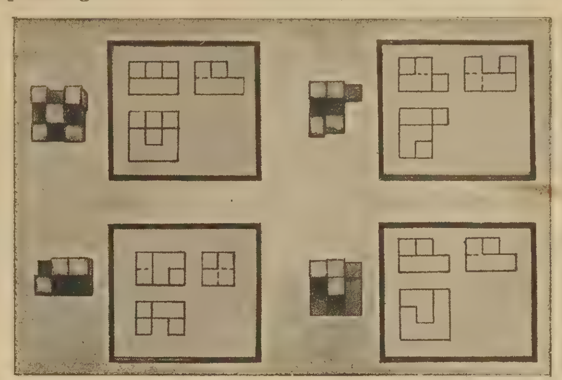


Abb. 20. Würfelbauaufgaben zur Übung der mittelbaren Raumanschauung.
Aufgabe: Aufbauen von Würfelgegenständen nach Zeichnung (die Vorlage stellt eine mittlere Reihe dar).

Menschliches Schaffen ist rhythmisch, taktmäßig die Arbeit der Maschine. Hier liegt der Brennpunkt des Problems, und wenn u. a. die Anpassung der Werkzeuge an die menschlichen Gliedmaßen, die Gestaltung der Umgebungseinflüsse auch außerordentlich bedeutungsvoll sind und menschenwirtschaftlich mit den andern Fragen weitergeführt werden müssen, so muß doch hervorgehoben werden, daß der Zwiespalt zwischen

Rhythmus des Menschen und Takt der Maschine

der wichtigste Fehler ist, der wesentlich dazu beigetragen hat, den Haß gegen den Betrieb auszulösen. Das Gefühl unbarmherzigen Mitgezerrtwerdens, des Verkettetseins mit seelenloser Materie hat mehr geschadet, als wir glauben. Dort, wo regelmäßig wiederkehrende maschinelle Betätigungen in nicht zu kurzer Zeit sich folgen (wie bei der Revolverbank), kommt der Zwiespalt weniger oder gar nicht in Frage; er macht sich besonders be-

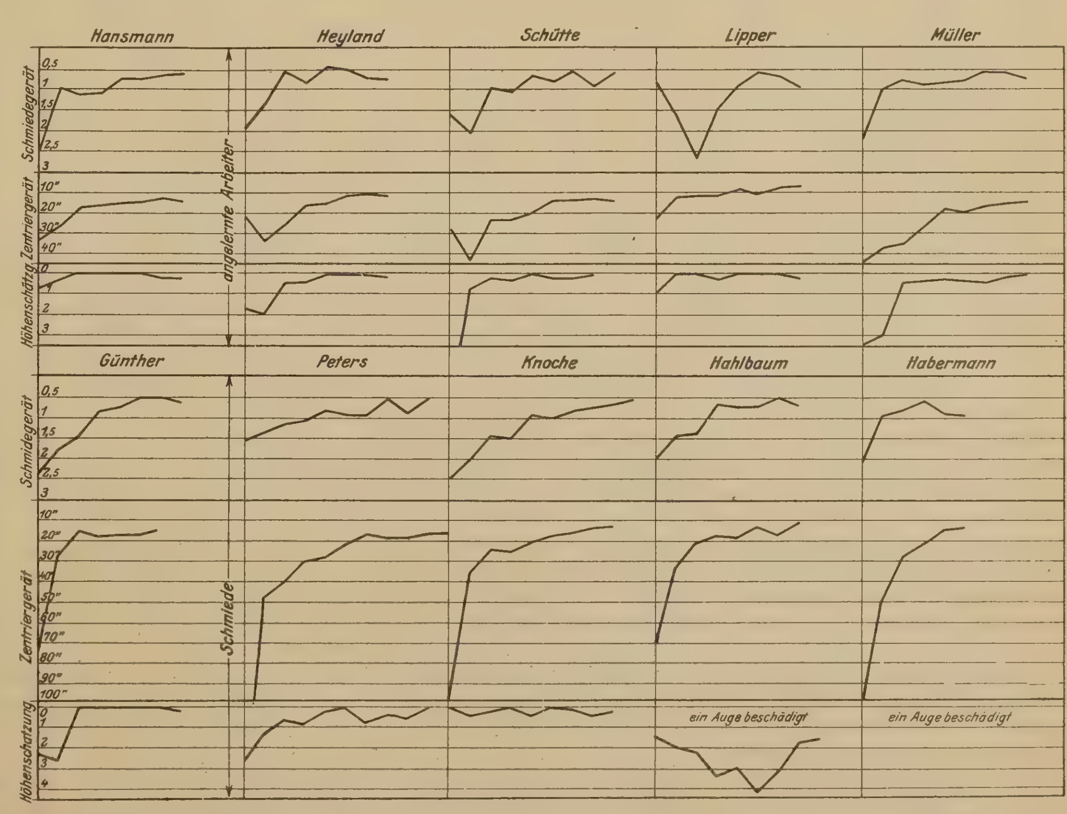


Abb. 21. Übungskurven von Werkstattarbeitern und Schmieden; November-Dezember 1923.

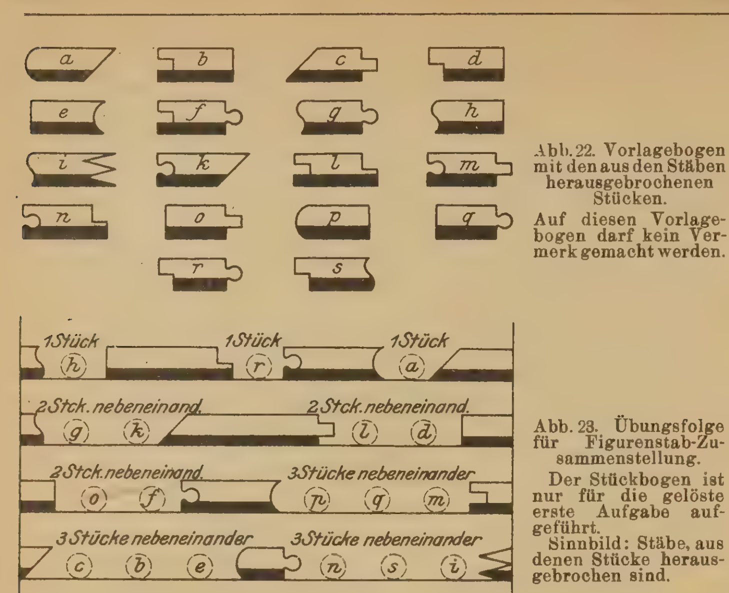


Abb. 22. Vorlagebogen mit den aus den Stäben herausgebrochenen Stücken.
Auf diesen Vorlagebogen darf kein Vermerk gemacht werden.

Abb. 23. Übungsfolge für Figurenstab-Zusammenstellung.
Der Stückbogen ist nur für die gelöste erste Aufgabe aufgeführt.
Sinnbild: Stäbe, aus denen Stücke herausgebrochen sind.

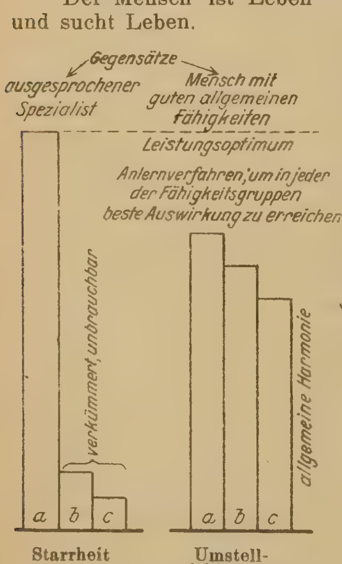
Abb. 22 und 23. Auswählen und Benennen der herausgebrochenen Stücke. Der dicke Strich muß immer unten liegen!

merkbar bei denjenigen Maschinen, bei denen kurze Taktfolgen die Regel sind (Pressen, Stanzen) und den Menschen in ihren Bann zwingen. Abgesehen von der psychologisch falschen Betätigungsart hat eine derartige maschinelle Anordnung den Fehler, daß der Mensch zu manchen Zeiten mehr arbeiten könnte und auf den Takt warten muß, in andern Zeitabschnitten aber ermüdet ist, nicht folgen kann und nun Takte überschlägt.

Wo ein Betrieb schwankender Materialzufuhr ausgesetzt ist, pflegen wir Lager einzuschalten, um gleichmäßigen Ablauf zu gewährleisten und die Schwankungen aufzufangen. Dasselbe muß bei derartigen Kurztaktmaschinen geschehen. Eine Stanze, der ein Rundtisch oder eine Zufuhranordnung vorgeschaltet ist, die taktmäßig weiterbewegt wird und in die der Arbeiter nach s e i n e m Rhythmus — unabhängig von der Maschine — seine Arbeitstücke zu legen vermag, wird wesentlich besseren Wirkungsgrad erzielen. Um so mehr, als dann unter Umständen mehrere Maschinen von einem Arbeiter bedient werden können. In dieser Beziehung sind viele Maschinen nur halbfertig, und es eröffnet sich für die Leistungssteigerung und Gestaltung menschlicher Arbeit die weiteste, lohnendste Aufgabe, s. Abb. 25.

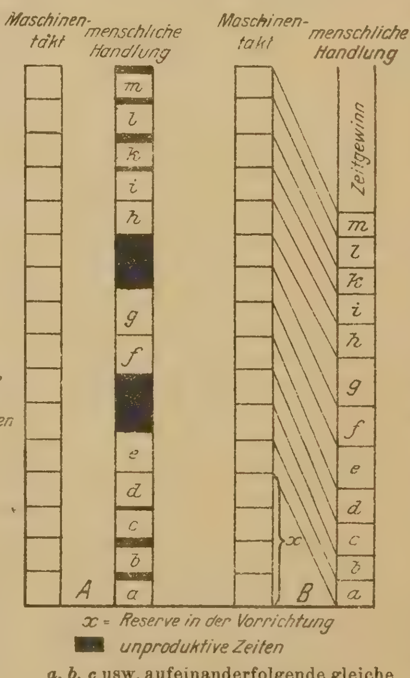
Niemals wird Arbeit mit kurzem Takt höchste Wirkung ergeben; wenn regelmäßige Wiederkehr maschineller Bewegung notwendig ist, muß die Taktfolge so groß sein, daß der Rhythmus in ihr zur Entfaltung kommen kann.

Der Mensch ist Leben und sucht Leben.



Starrheit — Umstellfähigkeit.
a, *b*, *c* Fähigkeitsgruppen.

Abb. 24. Schematisches Fähigkeitsbild des Menschen.



a, *b*, *c* usw. aufeinanderfolgende gleiche Arbeitshandlungen des Menschen.
Erklärung:
A. Mensch ist an den Takt der Maschine gebunden.
B. Menschlicher Rhythmus und Maschinentakt sind durch Vorrichtung (Rundtisch oder dergl.) parallel geschaltet.

Abb. 25. Takt und Rhythmus. Schematischer Vergleich.

Deshalb darf ihm die Maschine kein totes Gebilde sein. Wie der Lokomotivführer an der vorübereilenden Landschaft Maßstab und lebendigen Ablauf findet, so braucht auch der Maschinenarbeiter die Ä u ß e r u n g lebendiger Arbeit. Das Leben der selbsttätigen Maschine z. B. zeigt sich in der Bewegung und der abfallenden Stückzahl. Dort, wo Massenherstellung üblich ist (wie an Automatenbänken), sollten Stückzähler angebracht sein, verbunden mit verschiedenfarbigen Lampen für höhere Stückzahlen, um jederzeitigen A n r e i z zu geben und Vergleiche für die verschiedenen Tage dem Arbeiter selbst zu ermöglichen. Nur durch lebendige Gestaltung der Maschine kann diese den Arbeiter zur Arbeit fesseln, und es ist ein Unding, zu glauben, höchsten menschlichen Krafteinsatz an eintönigen Abläufen erreichen zu können. Voller Krafteinsatz, volle Anteilnahme aber ist Bedingung für das Verwachsensein mit dem Arbeitsmittel, und die Erfahrung zeigt, daß derjenige Arbeiter am meisten schafft, der mit seiner Maschine verwächst, ganz auf sie eingespielt ist. Hierher gehört ebenso die sichtbare Aufzeichnung des Stromverbrauchs. Denn nicht allein die angefertigte Stückzahl ist ausschlaggebend, sondern in gleicher Weise

die Höhe des S t r o m v e r b r a u c h s, der V e r b r a u c h der W e r k z e u g e, der V e r s c h l e i ß der M a s c h i n e.

Wir wissen, daß die Werte bei den einzelnen Leuten verschieden sind, und doch begnügen wir uns mit allgemeinen Feststellungen. Ebenso wie der Gesamtakkord einer großen Gruppe niemals höchste Ergebnisse zeitigen wird, ebensowenig werden wir nie Höchstleistung erzielen, wenn wir Stromverbrauch nur in der Gesamtheit erfassen und die Schonung von Werkzeugen und Maschinen durch Ermahnungen und Strafen erreichen wollen. Klare Arbeitsbedingungen aber sind die Grundlage bester Kraftauswirkung, und Wirtschaftlichkeit verlangt k l a r e Feststellung a l l e r eingesetzten Werte und Bezahlung nach der Formel:

Gewinn = geschaffene Werte — eingesetzte Werte.

Man mache dazu den Versuch, den Arbeiter zu einer Art Unterunternehmer zu erheben, der Miete für seine Maschine, sein Werkzeug bezahlt, Strom, Licht usw. begleicht, und man wird sehen, daß diese neue Zweckbeziehung es erst möglich macht, eine viel stärkere Verbindung mit seiner Arbeit herzustellen. Denn das ursprüngliche Streben des Menschen ist auf Selbständigkeit und freie Entfaltung gerichtet. Denkfehler gegenüber der Stellung des Menschen zur Arbeit schufen Abbremsung der Kraft und Triebverkümmerung, wie jeder verkümmern muß, der glaubt, daß andre für ihn sorgen oder sorgen müssen. Wenn wir die ganze elementare Kraft, die noch im Menschen steckt, einsetzen wollen, dann ist es notwendig, a l l e hemmenden Einflüsse zu beseitigen, insbesondere aber den Menschen die Möglichkeit zu geben, das zu erhalten, was sie verdient haben

in der E r z e u g u n g und E r h a l t u n g von Werten.

Maschinengestaltung ist verbunden mit der Höhe menschlicher Fertigkeit. Die Umlaufzahl eines Lufthammers richtet sich nach der erreichbaren Arbeitsschnelligkeit des Mannes, die Zahl der Bedienungselemente nach der Umsicht und Geschicklichkeit der Menschen. Stets müssen beide Seiten: Mensch und Maschine gegeneinander abgewogen, und es darf nie vergessen werden, daß menschlicher Rhythmus und menschliche Kraftauswirkung das Ursächliche ist und daß Triebverkümmerung s t e t s menschlich und wirtschaftlich Verlust ist. Der Mensch ist nicht, wie oft gesagt wird, eine Arbeitsmaschine, sondern die Maschine ist das Abbild natürlicher Abläufe, starrer durch unser Unvermögen und taktmäßig, weil wir nicht rhythmisches Leben bauen können.

Das Gebiet menschenwirtschaftlicher Maschinengestaltung liegt weit und offen da, und über das bereits bekannte Teilgebiet der Sinnfälligkeit hinaus zeigen sich neue Wege für den Maschinenbau, durch Menschenwirtschaft erzeugnissteigernd zu wirken.

Das Führen der Menschen.

Einseitige technische Entwicklung erzeugte Führermangel, Streben nach starren Organisationsformen scheuchte einen übrigen Teil zurück. Starre Organisation ist leblos, museumsreif, bewegliche Organisation ist organisch. Ein General ohne Anpaßfähigkeit ist unmöglich, ebenso unmöglich, wenn seine Untergebenen starr und anpassungslos sind. Uns fehlt die Strategie der Arbeit! Warum erstehen im Kriege so viele brauchbare Führer? Weil das Ziel wertvoll erscheint, weil klare Anordnungen gegeben werden, weil jedem Bewegungsfreiheit in seinen Dienstgrenzen gegeben ist, um seine ganze Kraft einzusetzen. In unsrer Arbeit fehlt Hochziel, Klarheit und Bewegungsmöglichkeit.

Wir stümpern und schaffen äußerliche Hilfsmittel. Lebendige Betriebführung, Geist der Kapitäne im Unter- und Oberführer tut not. Uns fehlts an Vorarbeitern, Meistern und Betriebsleitern, die lebendige Persönlichkeiten sind, die Technik als Mittel zum Zweck betrachten. Mitreißende Naturen sind Menschen, die das Zeug in sich haben, im Wirtschaftskampfe eine Welt zu stürmen, Kerle, die Tatendrang in die Arbeit tragen! Wohl ist es schwierig, technisch und menschlich führend zu sein, aber es wird zu unvermeidlicher Notwendigkeit, aus der Einseitigkeit herauszukommen; denn unsre Werke bauen auf menschlichen und mechanischen Kräften ihre Gefüge auf. Maschinen mit großen Reibungsverlusten sind wertlos, das gleiche gilt von der Organisation. Lebendige Organisation wird aber — wie der Feldzugplan — nur von lebendigen Führern getragen. Dies zu erreichen, ist Sache der Hochschulen und der Erziehungsarbeit in den Werken, um einen kampfesfrohen Stamm zu schaffen, der in klar angegebener Zielrichtung die ganze Kraft zur Arbeit einsetzt und anpaßfähig genug ist, stets vorkommende plötzliche Schwierigkeiten zu bewältigen.

Führertum im Werk soll nicht einseitig kaufmännisch und technisch gerichtet sein. Kaufmännische und technische Fehler wirken sich sichtbarer aus, deshalb erscheinen sie bedeutungsvoll. Menschenwirtschaftliche Fehler sammeln sich und entladen sich unsichtbar (z. B. in Arbeitsabbremsung) oder mit elementarer zerstörender Gewalt. Wir kommen in die Zeit, wo menschenwirtschaftliche Führung notwendig ist; denn wir können die bisher nur teilweise eingeschalteten menschlichen Kräfte nicht mehr entbehren.

Fabrikarbeit ist Zusammenspiel verschiedenartiger Menschen; Werkziel ist Gütererzeugung. In dieser Richtung alle möglichst reibungslos zusammenarbeiten lassen, ist Führertum. Führer sollen die Untergebenen nicht zusammenketten, sondern durch ihr Wesen mitreißend wirken. Das aber können nur selbstgerichtete Menschen, die weitere und höhere Ziele haben.

Wahre Führer waren stets reine, natürliche Menschen mit menschlichem Verstehen. Verstehen ist nicht Nachgiebigkeit, denn die Wünsche der Menge sind materiell, kurzsichtig und wahllos, Verstehen ist: Begreifen der Schwächen und Ertüchtigen, starkes Schützen des Weges der Gesamtheit.

Bei der Betriebs- und Werkleitung messen wir dem mitreißenden suggestiven Moment noch eine viel zu geringe Bedeutung bei. Die verhetzenden Elemente arbeiten damit im negativen Sinne, und es bedarf der ganzen positiven Gegenströmung der Führer, um das Gleichgewicht zu bewahren. Frische, Klarheit und Lebensmut wirken ansteckend ebenso wie Gedrücktheit und Angst. Der Offizier erreicht mit seiner Truppe das Höchste, dessen Persönlichkeit überragend und mitreißend ist, dessen Lebenskraft ansteckend wirkt. Geben wir offen zu, daß diese Führerschaft in unserm Wirtschaftsleben selten ist. Krach und Spektakel sind Zeichen der Nervosität, nervöse Offiziere aber sind untauglich und zu entfernen. Der Einwand vom bösen Willen der Leute und ihrer Untauglichkeit fällt auf den Organisator, den Generalstäbler zurück; denn wie der schlechte Wirkungsgrad einer Maschine auf einem Kombinationsmangel menschlichen Denkens beruht, gilt das Gleiche von Wirtschaftsorganisationen. Der reinste und sauberste Weg ist immer der produktivste.

Führererziehung ist Erziehung zur Persönlichkeit, die in sich harmonisch ist. Zerrissene Menschen, Menschen mit inneren Spannungen können nie Führer sein. Sie wollen nicht als Vorkämpfer voraneilen, kennen nur den Begriff „Herrschen" und wenden koloniale Mittel an. Solche Leiter sollte man mit vollem Gehalt pensionieren und würde damit ungeheures Geld verdienen. Wie im Kriege brauchen wir positiv gerichtete Vorkämpfer, die ihre Kraft aus sich schöpfen. Viele Menschen ahmen nur die Gewohnheiten der Mitmenschen, ihrer Vorgesetzten nach, entäußern sich damit ihrer Persönlichkeit. Nachahmungen aber sind wertlos.

Bejahung des Lebens, des Schaffens muß immer wieder vom Führer ausstrahlen. Sage nicht dem Arbeiter: „Du kannst überhaupt nichts!" sondern rege ihn an, sage: „wir müssen es noch besser machen". Jede negative Richtung schädigt die Zielstrebigkeit der Gesamtheit, wirft zurück. Deshalb ist es richtiger, mit Prämien als mit Abzügen und Strafen zu arbeiten, in Kindererziehung und Berufsleben: die Ausgaben sind gleich, die Wirkungen grundverschieden.

Hilf dem Menschen zum Mut zu sich selbst! Seien wir uns klar, daß viele die Kräftigung des Selbstbewußtseins ihrer Untergebenen deshalb nicht wollen, weil sie befürchten, die Leute könnten über die Stränge hauen. Das ist Angst, eignes Schwächegefühl, das dem Lenker nicht ziemt. Er sollte so kraftbewußt sein, daß ihm seine Pferde nicht feurig genug sein können. Angst vor den Folgen, Zaudern vor Entschlüssen sind Eigenschaften, unvereinbar mit Streben nach Produktivität. Ich kann keinen Sieg erringen wollen und Angst dabei haben, daß die Leute sich gegen mich wenden: es gibt eben nur gemeinsamen Kampf mit allen Kräften.

Führer sein ist Helfer sein! Der Führer ist der Zusammenfasser der einzelpersönlichen Kräfte, also liegt es in seiner Aufgabe, alle — auch menschlich — so kräftig wie möglich zu machen, damit die Stoßkraft der Gruppe immer größer wird. Ertüchtigen aber ist helfen. Schimpfen ist das Zeichen der Ratlosigkeit und eigenen Versehens. Sind Fehler zu rügen, tadele, tadele scharf, aber richte nachher wieder auf!

Führererziehung gilt nicht nur für die Oberführer, sondern in gleichem Maß auch für die Unterführer. Erst wenn das Streben zur Persönlichkeit, zur Führerpersönlichkeit in den Vordergrund rückt, können wir den Arbeitskampf gewinnen.

Höchstes Führertum ist Staatskunst. Diese ist Menschenwirtschaft in umfassendstem Maß. Ihre Sache ist es, Leben und Streben der verschiedenen Menschen zu vereinen, Gleichrichtung zu schaffen. Unruhen werden oft in den Betrieben geboren, in denen nicht menschenwirtschaftlich gearbeitet wird. Deshalb hat der Staat Anteil an tatkräftiger Menschenwirtschaft überall dort, wo Menschen schaffen.

So ist Führertum not, und keine Mühe darf gescheut werden, in Technik und Wirtschaft einen Stamm gerader, zielbewußter und kenntnisreicher Unter- und Oberführer zu erziehen, die unsre Berufstätigen in der Arbeit führen und unsrer Arbeit reibungslosere Gestaltung geben. Das aber ist Produktivität. Derjenige Führer wird die höchste Leistung erzielen, der die Kräfte abstimmt und durch seine Vorbildlichkeit in eine Richtung bringt.

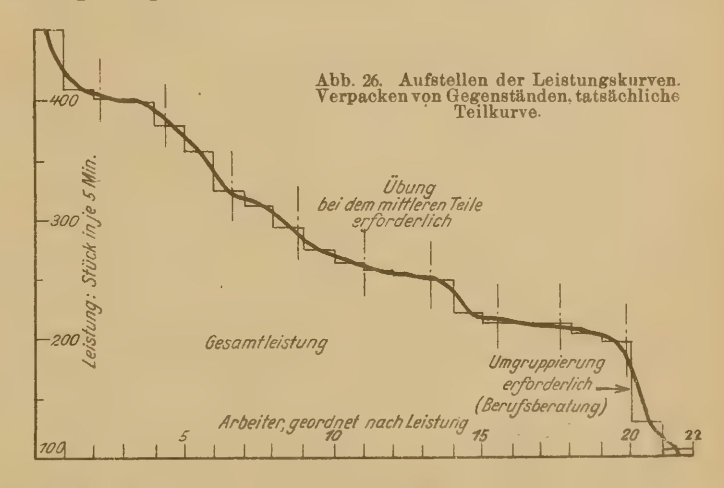


Abb. 26. Aufstellen der Leistungskurven. Verpacken von Gegenständen, tatsächliche Teilkurve.

Praktische Anwendung der Menschenwirtschaft.

Vorgehen:

A. Am Berufsplatz.

1. Erkennen unproduktiver Stellen,

festgestellt durch
 zu hohe Selbstkosten oder
 zu geringe Fertigung.

Grundlage:

Selbstkostenberechnung oder Leistungskurven, Abb. 26
 des Gesamtwerks,
 der Einzelwerkstatt,
 der Arbeitsgruppe oder des einzelnen Menschen,
 allgemein oder für bestimmte Fertigungen.

2. Feststellen der Mißstände.

a) Minderleistung (Güte, Menge);
b) zu hoher Verbrauch
 von Werkstoff,
 von Werkzeugen,
 von Maschinen;
c) zu hoher Kraftverbrauch (z. B. Dampf, Strom);
d) Unfälle;
e) zu starker Arbeiterwechsel;
f) Unruhe in der Arbeitergruppe.

3. Ermitteln der Ursachen.

a) schlechte Fertigkeiten;
b) schlechte Betriebseinrichtungen;
c) unorganischer Arbeitsgang (siehe 4);
d) schlechte Führung.

Meist treten einige der unter 2 genannten Mißstände offen zutage. So kann in jedem Betriebe schon ohne weiteres mit der Verbesserung an der kritischsten Stelle begonnen werden.

Tafel 2.

Beispiel eines einzelnen Übungsvorganges.

Fertigung: Drehen glatter Bolzen auf der Drehbank.
Arbeitsvorgang: Einspannen;
Vordrehen;
Messen mit Rachenlehre;
Fertigdrehen;
Abspannen;
(Schleifen).

Entsprechend der Geschicklichkeit des Arbeiters schwankt die Zahl der Arbeitsgänge des Fertigdrehens. In den meisten Fällen geht der Arbeiter zu oft über das Werkstück, weil ihm die Beziehung zwischen

Gelenkempfinden beim Messen und Zustellungsmaß

fehlt. Hier setzt die Übung ein, Abb. 27.

Dann ist so lange einzuschulen, bis die
Beziehung: Gelenkempfinden — Zustellungsmaß
sicher eingeübt ist. Einzelpersönliche Abänderungen sind stets erforderlich.

4a) Aufstellen der Berufsanalyse.

Sie enthält:
normalen Arbeitsvorgang
in zeitlicher Reihenfolge,
unter Nennung der notwendigen Hilfsmittel und Werkzeuge,
unter Angabe der erforderlichen Fähigkeiten (vgl. Analyse des Nietenstemmers);
mögliche Schwierigkeiten und Gefahren
und deren Vermeidung.

4b) Aufstellen von Zeitstudien

überall dort, wo große Unterschiede in den Gesamtleistungen der einzelnen Leute vorhanden sind und die kritische Unterarbeit ermittelt werden soll.

5. Verbesserung der Leistung durch

Verbesserung der Arbeitsmittel.
Berücksichtigung der menschlichen und technischen Bedingungen.

Schulung mit vorangehender Fähigkeitsprüfung (Tafel 2 und Abb. 27).

a) Aufstellen der Prüf- und Übungsordnung;
Erforderlich:
Festes, gestaffeltes Einüben der Berufskenntnisse.

b) Bau der Geräte
mit einfachen Mitteln, Abbilder der Wirklichkeit für Teilfunktionen des Berufsplatzes, möglichst selbst aufzeichnend.

c) Entwurf der Vorlagen für
Intelligenzleistungen, Tafel 3.

d) Übung:
Fähigkeitsfeststellung.
Selbständige Übungsarbeit bei individueller Berücksichtigung der Fähigkeiten.
Eingestreute Prüfraumfeststellungen.

Einfluß auf bessere Führung.
Ständiges Betonen vorbildlicher Führerschaft in helfendem Sinne. Führer ist Vorkämpfer, nicht Herrscher.

Grundbedingung der Schulung:
Verwachsen mit Arbeitsbedingungen.
Sportliche Behandlung der Leistungshergabe.

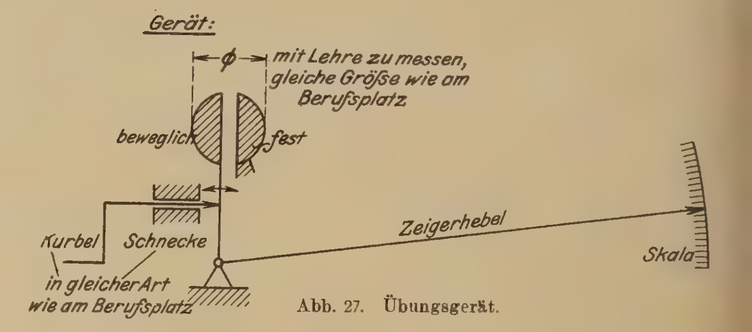


Abb. 27. Übungsgerät.

Übungsfolge.

1. Einstellen des Geräts auf Fertigdrehmaß,
2. Einüben des beim Messen dieser Stellung auftretenden Gelenkempfindens,
3. Verstellen des Geräts um eine bekanntgegebene Kurbeldrehung,
4. Einüben des Gelenkempfindens,
5. Zurückgehen auf Fertigdrehmaß,
6. Einüben des Gelenkempfindens,
7. stärkeres Verstellen des Geräts als bei 3,
8. Einüben des betr. Gelenkempfindens,
9. Zurückgehen auf Fertigdrehmaß
usw. bis Vordrehmaß erreicht ist.

Tafel 3. Beispiel einer Kombinationsaufgabe für Terminbeamte.

Auswahl von Aufträgen.

Die Schulungsaufgaben sind auch hier in ihrer Schwierigkeit gestaffelt zu geben.

Aufgabe: Es ist diejenige Zusammenstellung von Aufträgen zu suchen, bei der die einzelnen Banktypen bestens ihrer Besetzungsmöglichkeit entsprechend besetzt sind. Anm.: Ein Herübernehmen der Arbeit auf die nächst angrenzenden Banktypen ist statthaft.

Banktypen	I Schichten		II Schichten	III Schichten		IV Schichten	V Schichten	VI Schichten
Auftrag								
A	1		5	3		4	12	8
B	14		—	6		3	7	21
C	—		25	—		—	8	—
D	6		11	24		1	1	4
Besetzungsmöglichkeit der einzelnen Banktypen in Schichten	16		31	25		6	21	15
Lösungsversuch: $A + B$[1])	15 (—1)		5 (—26)	9 (—16)		7 (+1)	19 (—3)	29 (+14)
Lösung: $A + C + D$	7 (—9)	← 9	41 (+10)	27 (+2)	→ 1	5 (—1)	21 (0)	12 (—3)
	0		+1	+1		0	0	—3

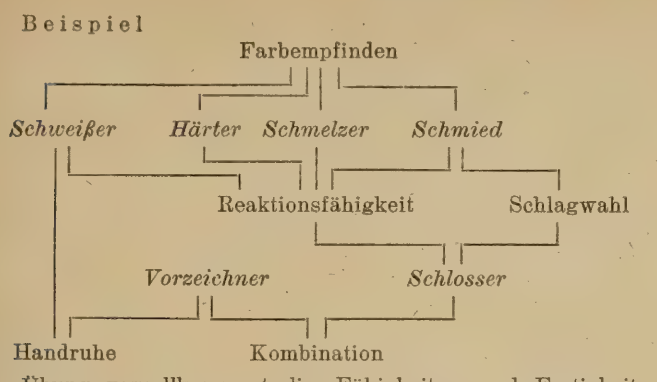
[1]) meist zu geringe Besetzung.

Schulung ergibt schnellsten Gewinn, besonders dort, wo große Leistungsunterschiede und Minderleistungen in der menschlichen Arbeit auftreten. Leistungsunterschiede lassen sich leicht nach der Stückzahl oder Akkordstatistik ermitteln.

In dem Beispiel, Abb. 27, gilt es, insbesondere den mittleren Teil in den Fertigkeiten zu heben, während bei den schlechten Leuten Berufsberatung einsetzen muß.

Berufsberatung gründet sich auf die Verknüpfungen verschiedener Berufe durch bestimmte Fähigkeiten (Grundlage: Analysen).

B e i s p i e l



Übung vervollkommnet die Fähigkeiten und Fertigkeiten, schafft also neue G ü t e w e r t e und Z e i t w e r t e.

B e i s p i e l Abb. 28: Eine Packerin gehört zu den Besten am Berufsplatz. Die Fertigkeit zerfällt in
Sortieren (Beobachten) und
Packen (Handschicklichkeit).
Die Übung zeigt, daß sie im Sortieren mittelmäßig ist und durch sehr schnelles Packen diesen Zeitverlust aufholt. Durch Ü b u n g d e s S o r t i e r e n s kann ohne höhere Ermüdung die Gesamtleistung gehoben werden.

Zeitstudien zeigen also ein verschiedenes Bild vor und nach der Übung, Abb. 28 und 29.
Bestleistung ist nur von geübten Menschen zu erwarten.

Zusammenfassung:

Höchste L e i s t u n g s s t e i g e r u n g ist nur möglich, wenn m e n s c h l i c h e und m e c h a n i s c h e K r ä f t e möglichst r e i b u n g s l o s zur A u s w i r k u n g kommen.

Der W e g zur L e i s t u n g s s t e i g e r u n g führt über M e n s c h e n w i r t s c h a f t (zunächst Schulung) und T e c h n i s c h e V e r b e s s e r u n g.

Der Mensch ist Träger des Schaffens und der Arbeit. Menschenwirtschaft übergehen ist Kraftverschwendung. Noch sind ungeheure Kräfte im Menschen ungelöst, die wir in Kriegen, in Panik und Begeisterung erkennen. Solange all diese elementaren menschlichen Kräfte schlummern, kann von Produktivität nicht die Rede sein!

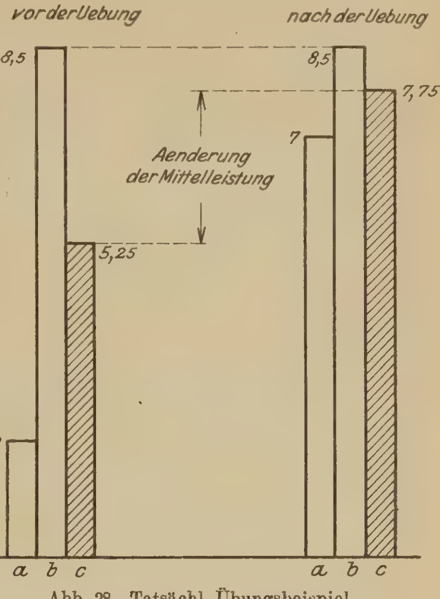


Abb. 28. Tatsächl. Übungsbeispiel. Verpacken von Gegenständen. *a* Sortieren, *b* Packen, *c* Mittelleistung.

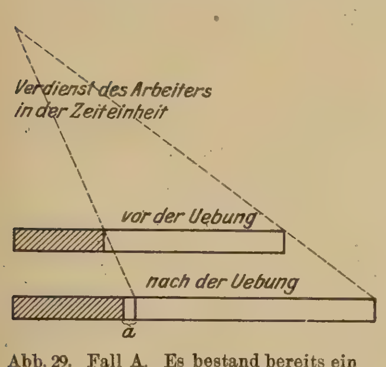


Abb. 29. Fall A. Es bestand bereits ein genauer Akkordsatz.

Der neue Akkordsatz entspricht dem neuen Gewinn in Hundertteilen abzüglich des Anteiles für Übungskosten *a*.

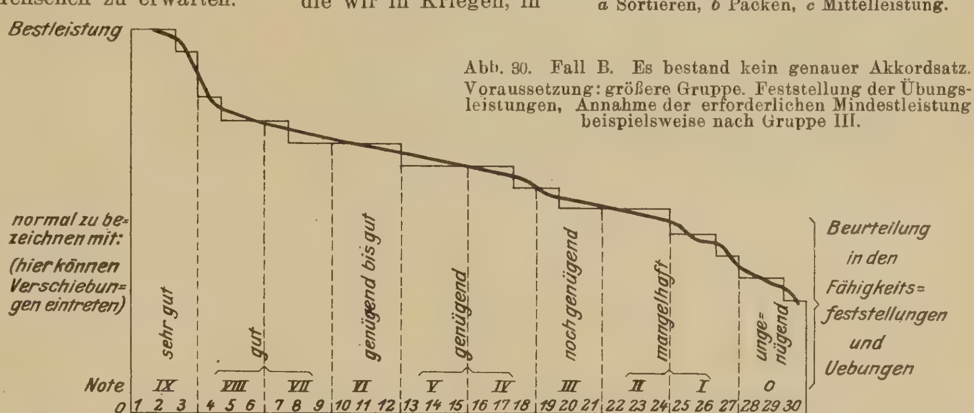


Abb. 30. Fall B. Es bestand kein genauer Akkordsatz. Voraussetzung: größere Gruppe. Feststellung der Übungsleistungen, Annahme der erforderlichen Mindestleistung beispielsweise nach Gruppe III.

Abb. 29 und 30. Festlegung der Akkorde nach der Übung.

V o r g e h e n:

B. In der Schule:

1. Feststellen allgemein notwendiger Fähigkeiten wie Kombination, Raumanschauung, Tastsinn, Gelenkempfinden usw.
2. Übung an Geräten und Vorlagen.
3. Übernahme der Berufsbilder aus der Praxis.
4. Beobachten der Anlerngewinne und Fähigkeiten.
5. Berufsberatung.

C. In der Fortbildungsschule:

Fähigkeitsschulung für allgemeine Berufsfähigkeiten.

Menschenwirtschaft betont die menschlichen Kräfte in der Arbeit, ordnet Technik als Hilfsmittel ein. Sie öffnet ein ungeheures Gebiet voll höchster Kräfte, die ungenutzt zu lassen Torheit ist. Sie zeigt den Weg zu ertragreicher, nicht zu übertreffender Organisation.

Jeder kann nur auf dem Gebiet Erfolg haben, dem er innerlich entspricht. Das gilt für Menschen und Völker. Unsre Aufgabe ist, Vorkämpfer, Führer zu sein, geistig und wirtschaftlich.

F ü h r e r s e i n h e i ß t H e l f e r s e i n!
D e r a r t s e i u n s e r e T a t!

[A 214]

Der Bildwerfer als Hilfsmittel für technische Vorträge.

Von Prof. P. v. Denffer, Riga.

Die Mängel der handelsüblichen Bildwerfer als Hilfsmittel für technische Vorträge werden betrachtet und eine Bauart des Bildwerfers, die die gerügten Mängel beseitigt, beschrieben.

Eins der wichtigsten Hilfsmittel für technische Vorträge an Hoch- und Mittelschulen ist ohne Frage der Bildwerfer (Projektionsapparat); nur muß er, um seinen Zweck ganz zu erfüllen, eine entsprechende Bauart aufweisen. Die meisten handelsüblichen Bildwerfer entsprechen nicht den Forderungen, die der technische Vortrag an solche Apparate stellen muß. Zweck dieser Zeilen ist es, auf die Mängel hinzuweisen und deren Beseitigung anzustreben.

Ein Vorführen der Lichtbilder in ununterbrochener Reihe kommt bei technischen Vorträgen selten vor und ist wohl nur dann angebracht, wenn es sich um einleitende Vorträge und Darstellung geschichtlicher Entwicklungsgänge handelt. Sollen jedoch die Lichtbilder den technischen Vortrag wirksam unterstützen, so müssen die Bilder e i n z e l n, jeweils an der betreffenden Stelle des Vortrages vorgeführt werden, Hand in Hand mit dem Skizzieren an der Tafel. Hieraus folgt, daß die Bildvorführungen im n i c h t verdunkelten Raum stattfinden müssen, so daß gleichzeitig mit dem Lichtbild die Tafel benutzt werden kann und die Hörer im Nachschreiben nicht behindert werden.

Als weitere Forderung ergibt sich aus Obigem, daß der Apparat in beliebigem Augenblick in Tätigkeit oder stillgesetzt werden kann und endlich, daß der Bildwerfer kein besonderes

Bedienungspersonal beansprucht, sondern vom Vortragenden selbst mühelos bedient werden kann. Daß der Bildwerfer durch seine Abmessungen, Aufbau und Aufstellung den Blick auf Bildschirm und Tafel nicht behindern, auch nicht unnötig viel Bodenfläche beanspruchen darf, sind selbstverständliche Forderungen.

Die erste Forderung: Vorführung der Lichtbilder im nicht verdunkelten Raum, bringt es mit sich, daß von der Anwendung der sogenannten Epidiaskope (Projektion mit auffallendem Licht) abzusehen ist, denn auch bei stärksten Lichtquellen — Scheinwerfer von 50 A — und bester Optik sind genügend helle Bilder nur im ganz verdunkelten Raum zu erzielen. Es lassen sich daher zweckmäßig nur Glasbilder (Diapositive) wiedergeben, die bei entsprechend starken Lichtquellen (Gleichstrom von 20 bis 30 A) und lichtstärkster Optik auch in Hörsälen, deren Tageslichtverhältnisse der Lichtwirkung des Bildwerfers ungünstig sind, ausreichend helle Bilder im nicht verdunkelten Raum geben.

Für die in Rede stehenden Fälle verdienen daher die einfachen Bildwerfer den Vorzug, die, mit einer Bogenlampe mit Handregelung ausgerüstet, den Apparat in einfachster Weise in einem beliebigen Augenblick einzuschalten und stillzusetzen gestatten. Kann somit der einfache Bildwerfer leicht den ersten beiden eingangs erwähnten Forderungen angepaßt werden, so trifft dieses in bezug auf die dritte Forderung: Bedienung des Bildwerfers durch den Vortragenden selbst, für die handelsüblichen Bildwerfer nicht zu. Die Erfüllung dieser Forderung ist jedoch von großer Bedeutung; denn der Vortragende ist nicht mehr vom Bedienungspersonal des Bildwerfers abhängig und kann die Bildvorführung voll seinem Vortrag anpassen.

Erfordert der Bildwerfer besonderes Bedienungspersonal, so kann es leicht vorkommen, daß, um nur einige Bilder (oft nur 1 bis 2) vorzuführen, die Bedienung eine ganze Stunde oder auch länger im Hörsaal anwesend sein muß, und so deren Arbeitskraft für andre Zwecke verloren geht. Es kann auch leicht der Fall eintreten, daß die Bildvorführung in der vorgesehenen Vortragstunde gar nicht an die Reihe kommt; dann ist die Anwesenheit der Bedienung vollkommen nutzlos gewesen. Um diese Übelstände zu vermeiden, wird oft die Bedienung des

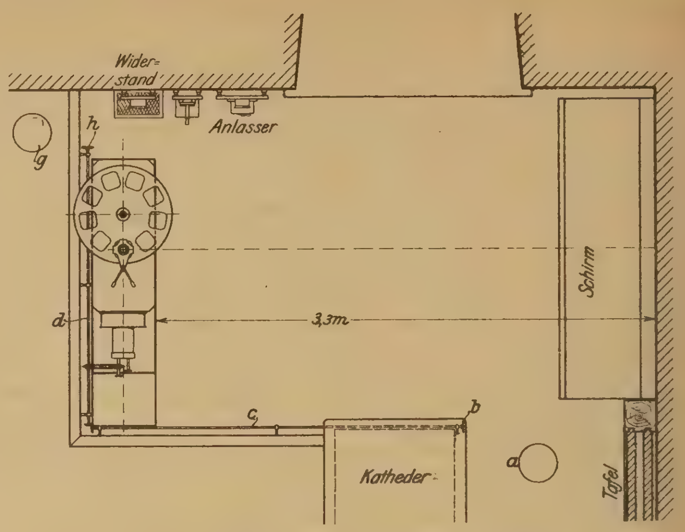


Abb. 3. Aufstellung des Bildwerfers im Hörsaal.

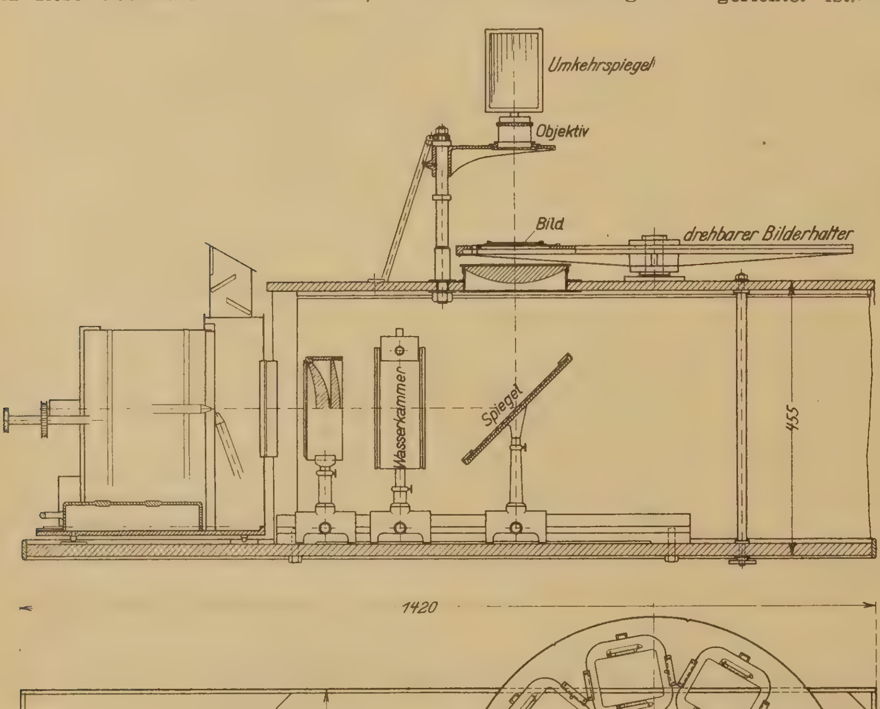
Bildwerfers erst in dem gegebenen Augenblick vom Vortragenden in den Hörsaal gerufen, doch ist das Eintreten von Personen während des Vortrages immer störend. Alle diese Übelstände fallen fort, wenn die Bauart des Bildwerfers gestattet, diesen vor dem Vortrag entsprechend herzurichten, so daß der Vortragende selbst den Apparat mühelos bedienen kann.

Im nachstehenden soll die Bauart eines Bildwerfers, der den angeführten Forderungen voll gerecht wird, beschrieben werden.

Der Bildwerfer, Abb. 1 und 2, stellt die frühere Bauart des großen Projektionsapparates der Firma Carl Zeiß, Jena, dar, ausgestattet mit einem drehbaren Bilderhalter, der zur gleichzeitigen Aufnahme von neun Bildern (9 × 12 cm) eingerichtet ist. Die Eigenheit dieser Ausführung liegt in dem Dreh-Bilderhalter. Der Bildwerfer erhält zwei derartige Scheiben, die vor dem Vortrage mit Bildern gefüllt werden, so daß für den jeweiligen Vortrag 18 Bilder zur Verfügung stehen (für die meisten Fälle dürfte diese Zahl von Bildern ausreichend sein, weshalb ein Nachfüllen während des Vortrages nur ausnahmsweise erforderlich ist). Die Bilder werden gewechselt durch einfaches Drehen der Scheibe, deren Stellungen durch Sperrzahn und Einschnitte am Umfang der Scheibe entsprechend gesichert werden.

Sind die Bilder einer Scheibe vorgeführt, so wird diese vom Apparat abgehoben und die zweite Scheibe auf den Drehzapfen aufgebracht. Die Bildwechselung ist erheblich einfacher als mit den üblichen Bilderschiebern und gewährt gegenüber diesen den bedeutenden Vorteil, daß auf schon vorgeführte Bilder ohne Schwierigkeit zurückgegriffen werden kann, indem man die Scheibe rückwärts dreht. Werden mehrere Bilder eines und desselben Gegenstandes gezeigt (Gesamtansicht einer Maschine und deren Einzelheiten), so kann immer wieder auf ein beliebiges Bild der betreffenden Gruppe zurückgekommen werden. In mehrjährigem Betriebe hat sich diese Bauart des Bildwerfers aufs beste bewährt[1]).

Die Aufstellung des Bildwerfers im Hörsaal und die Einrichtung zur Bedienung durch den Vortragenden erläutert Abb. 3. Der Bildschirm von 2 × 2 m² ist neben der Tafel angeordnet. Der Bildwerfer steht parallel der Schirmwand in 3,3 m Abstand von der Wand, so daß der Vortragende mit wenigen Schritten die Anlaßvorrichtung für den zum Betriebe der



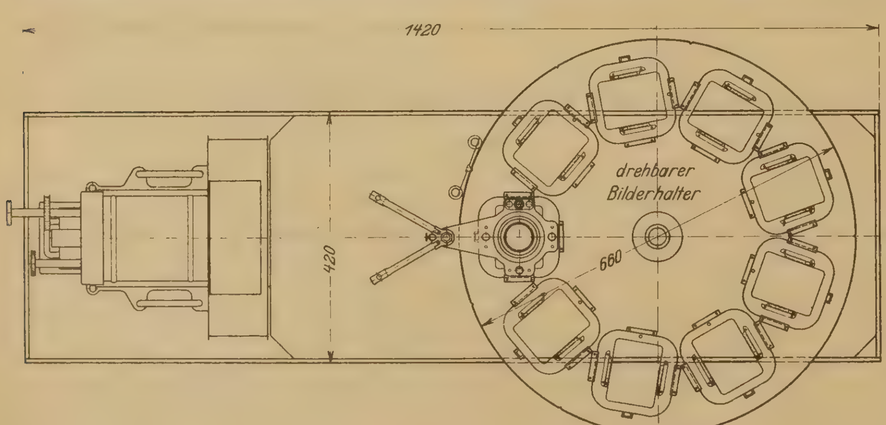


Abb. 1 und 2. Aufriß und Grundriß des Bildwerfers mit drehbarem Bilderhalter.

[1]) Den ersten Bildwerfer dieser Art, ausgerüstet nach meinem Vorschlage mit drehbaren Bilderhaltern lieferte die Firma Carl Zeiß, Jena, im Jahre 1908 für das Rigasche Polytechnische Institut, desgleichen einen zweiten Apparat etwa zwei Jahre später. Beide Bildwerfer haben bis zur Verlegung der Hochschule im Jahre 1915 zu vollster Zufriedenheit gearbeitet. Die mechanische Fakultät der Universität Lettlands in Riga hat jetzt wiederum einen derartigen Bildwerfer von Carl Zeiß bezogen. Die hier beigegebenen Abbildungen veranschaulichen letzteren Apparat.

Bogenlampe dienenden Umformer (aufgestellt im Kellergeschoß), den Regulierwiderstand und den Drehbilderhalter erreichen kann. Für die Nachstellung der Bogenlampe während der Bildvorführungen von dem Platze des Vortragenden aus bei *a* ist eine Fernregelung vorgesehen, die durch ein kleines Handrad

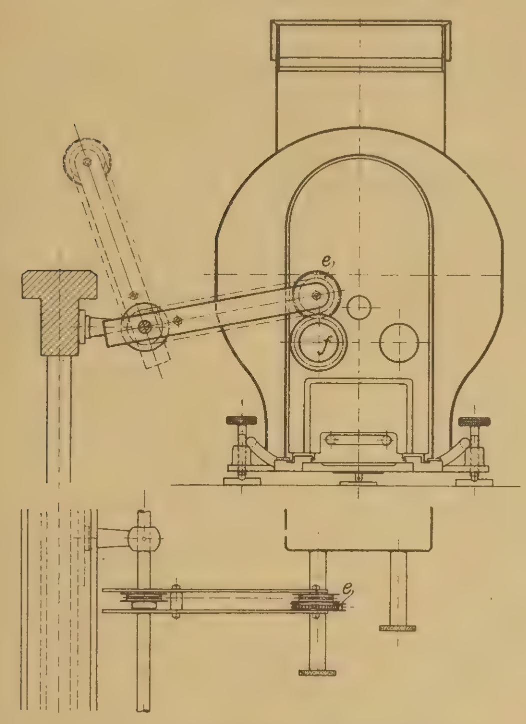


Abb. 4 und 5. Fernregelung der Bildwerferlampe.

(*b*, unter der Tischplatte des Katheders) bewirkt wird. Von der Welle dieses Handrades *c* geht die Übertragung auf die Lampe durch Kegelräder auf eine zweite Welle *d* und von dieser mittels Kettentriebes und Stirnräder auf die Regulierspindel der Lampe. Die Kettenübertragung mit dem Zahnrad *e*, Abb. 4 und 5, ist an einem schwenkbaren Arm angeordnet, damit man die Übertragung auf das Rad der Regulierspindel *f* durch einfaches Ausschwenken leicht lösen kann. Dank dieser Anordnung kann die Bogenlampe zum Kohlenwechseln rasch aus dem Gehäuse herausgezogen werden.

Da in dem Hörsaal außer den Vorlesungen über mechanische Technologie und Maschinenbau auch noch Vorlesungen von Nichttechnikern gehalten werden, so war Anordnung zu treffen, um den Bildwerfer gegebenenfalls durch einen Laboranten bedienen zu lassen. Letzterer hat in diesem Falle seinen Standpunkt bei *g*, Abb. 3, ganz an der Fensterwand des Hörsaales, so daß der freie Blick auf den Schirm nicht behindert wird. Schalter und Regulierwiderstand für die Lampe sind vom Standpunkt *g* aus bequem zu erreichen, desgleichen auch der Drehbilderhalter. Für das Nachregeln der Lampe ist auf das Ende der Welle *d* ein gleiches Handrädchen *h* wie unter dem Katheder aufgesetzt. Der ganze Bildwerfer ist in seinem Aufbau so niedrig, daß die Drehscheibe in der Höhe der Schirmunterkante zu liegen kommt. Nur das Objektiv und der kleine Umkehrspiegel ragen über die



Abb. 6. Bildwerfer im Hörsaal mittags 1 Uhr in Betrieb

Drehscheibe hinaus, doch sind Abmessungen dieser Teile so gering, daß hierdurch der Blick auf den Schirm nicht behindert wird.

Den Bildwerfer im Betrieb veranschaulicht die Abb. 6. Da für den vorliegenden Fall die Lichtverhältnisse des Hörsaales für die Wirkung des Bildwerfers äußerst ungünstig sind (die Fenster liegen nach Süd-West), so ist es erforderlich, am Tage das unmittelbar am Schirm gelegene Fenster zu verdunkeln. (Die Aufnahme der Abb. 6 ist um 1 Uhr mittags bei Sonnenschein erfolgt.) [A 7]

Die Durchschlagfestigkeit der Hochspannungsisolierstoffe.

J. L. R. Hayden und Ch. P. Steinmetz (†) entwickeln eine Charakteristik der Durchschlagfestigkeit gasförmiger, flüssiger und fester Isolationsmaterialien[1]). Als Maß der elektrischen Widerstandsfähigkeit der Isolationen gegen Durchschläge dient die sogenannte „dielektrische Festigkeit" oder Durchschlagspannung auf 1 cm Länge, die für Luft im Mittel 30 kV/cm bei normalem Druck von 1 at und 0 °C beträgt. In der Praxis muß jedoch dieses Spannungsgefälle — je nach der Feldverteilung — stets um einen bestimmten „Energieüberschuß" höher sein als die Durchschlagspannung; auch hängt das wirksame Spannungsgefälle wesentlich von der Polarität der geerdeten Funkenelektroden und deren Form ab. Bei positiv geerdeten Kugelfunkenstrecken ist es fast doppelt so hoch, als bei negativen, so daß die Feldverteilung und Ionisierung an der positiven Elektrode maßgebend für die Durchschlagspannung ist. Die kleinste Funkenspannung in der Luft beträgt 320 V, unabhängig von der Überschlagweite; das Durchschlag-Spannungsgefälle steigt bei sehr kleinen Funkenstrecken bis auf 6,2 Mill. V/cm an; das Gefälle sinkt sodann bei zunehmender Funkenlänge und bei Spannungen über 4500 V allmählich von 60 auf 30 kV/cm. Allgemein gilt für Luft die Beziehung für dielektrische Festigkeit in kV:

$$e = 0{,}32 + 60\,l \quad (l \text{ in cm}).$$

Bei flüssigen Isolierstoffen, namentlich Öl, zeigt sich kein so gesetzmäßiges Verhalten wie in trockner Luft; die Abweichungen vom Mittelwert betragen oft 20 vH und darüber. Die ist wahrscheinlich auf eine ungleiche Zusammensetzung (Verunreinigung) des Öls zurückzuführen[2]).

Bei festen Körpern hängt die Durchschlagspannung wesentlich von der Temperatur, Feuchtigkeit, Dauer des Versuchs, Herstellungsverfahren usw. ab. Wichtig für die Güte fester Isolierstoffe sind deren „dielektrische" Verluste infolge ihrer größeren Leitfähigkeit, die mit der Temperatur aber rasch ansteigt; sie sind wesentlich von der Ungleichförmigkeit des Stoffes abhängig, die das Auftreten von „heißen Punkten" mit geringerer Durchschlagfestigkeit bedingt. Je nach der Strombahn des Wärmgefälles wird die Durchschlagspannung mit der Dicke der Isolation oder deren Quadratwurzel ansteigen; auch ändern sich die Verluste mit der Frequenz des Stromes und der Temperatur. Infolge der Ungleichheit der spezifischen Kapazität und Leitfähigkeit von ungleichartigem Isolationsmaterial treten mechanische Beanspruchungen in der Isolation auf, die häufig zu Zerreißungen Anlaß geben.

Gleichförmigkeit der Isolierstoffe ist somit eine Hauptbedingung für ihre Sicherheit und Lebensdauer. Die in ungleichartigem Isolationsmaterial auftretenden elektrostatischen Kräfte lösen auch häufig chemische Wirkungen und Zerstörungen aus, die mit dem Spannungsgefälle ansteigen. Kleine Luftblasen, deren Durchschlagfestigkeit weit geringer als die des festen Isolierstoffes ist, geben häufig Anlaß zu Durchschlägen.

Die Zeitverzögerung der Isolation, d. i. die Zeitdauer, innerhalb deren der Durchschlag erfolgt, hängt in erster Linie von der Höhe der Überspannung ab. Diese Zeitverzögerung hat eine dämpfende Wirkung auf den Spannungsanstieg an den Luftklemmen zur Folge, der häufig die Ursache der Transformatoröl-Durchschläge bei verhältnismäßig niedrigen Spannungen und bei geringerer Dämpfung (Zeitverzögerung) ist. Auch an Leitungsisolatoren sind häufig Überschläge zu beobachten und sogar erwünscht, die viel früher erfolgen als das unmittelbare Durchschlagen der Isolation, sobald deren Zeitverzögerung höher ist als jene der Isolationsflächen. Bei Kabeln bildet die Zeitverzögerung häufig ein Schutzmittel gegen kurz andauernde Überlastungen, und bei nicht zu lange auftretenden Überspannungen verhindert sie die zerstörenden chemischen Wirkungen an der Isolation. [M 191] Rb.

[1]) Vergl. Journal of the American Institute of Electrical Engineers. Bd. 43. Januar 1924 S. 36.
[2]) s. Z. Bd. 67 (1923) S. 791.

Versuchsergebnisse von Storek-Kaplanturbinen.

Von Ing. Hans Mikyska, Brünn.

Nach Beschreibung der Versuchsanordnung wird an der Hand von Abbildungen, hauptsächlich Bremskurven, gezeigt, daß die Kaplanturbine dem Vergrößerungsgesetz nach Prof. Camerer in bestimmten Fällen folgt. Ferner wird über erfolgreiche Versuche zur Vermeidung von Kavitationen berichtet.

In dieser Zeitschrift sind wiederholt Veröffentlichungen über Propellerturbinen erschienen, wobei auch darauf hingewiesen ist, daß die amerikanischen Veröffentlichungen zu Unrecht den Anschein erwecken, als ob in Europa der Bau von Flügelradturbinen vernachlässigt würde. Während man in Europa die Flügelradturbine mit verstellbaren oder regelbaren Laufschaufeln, die Kaplanturbine, bereits hoch entwickelt hat, ist bisher m. W. keine Veröffentlichung über den Bau von solchen in Amerika erschienen.

Abb. 1 und 2. Einbau der Versuchsturbinen, Bauart Storek-Kaplan, in Podjebrad. (Bei a, b, c, d sind die Voltmannflügel angebracht.)

Die Firma Ignaz Storek in Brünn hat die erste Kaplanturbine für die Praxis gebaut[1]) und nach erfolgreicher Inbetriebsetzung dieser Turbine den Bau von Kaplanturbinen aufgenommen. Zur erfahrungsmäßigen Aufklärung der in der Kaplanturbine auftretenden Strömungserscheinungen stand und steht der Firma eine eigene Versuchsanstalt für 200 l/s Wassermenge bei 1 bis 3 m Gefäll, eingerichtet für den Einbau von Versuchsturbinen von 184 und 300 mm Laufrad-Dmr., zur Verfügung.

Die Versuche in Podjebrad.

Im Herbst 1920, als mehrere von den geplanten tschechoslowakischen staatlichen Wasserkraftanlagen zur Ausschreibung gelangten, waren bereits einige Kaplanturbinen kleinerer Größe im Betrieb, und es wurde erwogen, die Anlagen Přelouč, Mířowitz und Nymburg mit Kaplanturbinen auszubauen. Um den für die Vergebung des Auftrages notwendig erforderlichen Nachweis zu erbringen, daß die Kaplanturbine auch als Turbine von größeren Abmessungen ihre wirtschaftlichen Vorteile beibehält, baute die Firma Ignaz Storek gemeinsam mit der Ersten Böhmisch-Mährischen Maschinenfabriks-A.-G. in Prag nach den Plänen der ersteren in dem staatlichen Wasserkraftwerk in Podjebrad an der Elbe in einen dortselbst für eine Francisturbine bereitstehenden Betonbau eine Versuchsturbine mit folgenden Daten ein: Laufrad-Dmr. 1800 mm, $Q_{max} = 10$ m³/s, $H_{max} = 2{,}5$ m, $H_{min} = 1{,}5$ m, $N_{max} = 275$ PS. Der erwähnte Betonbau wurde vom Ministerium für öffentliche Arbeiten in Prag zur Verfügung gestellt. Der Einbau der Turbine ist in Abb. 1, 2 und 3 dargestellt.

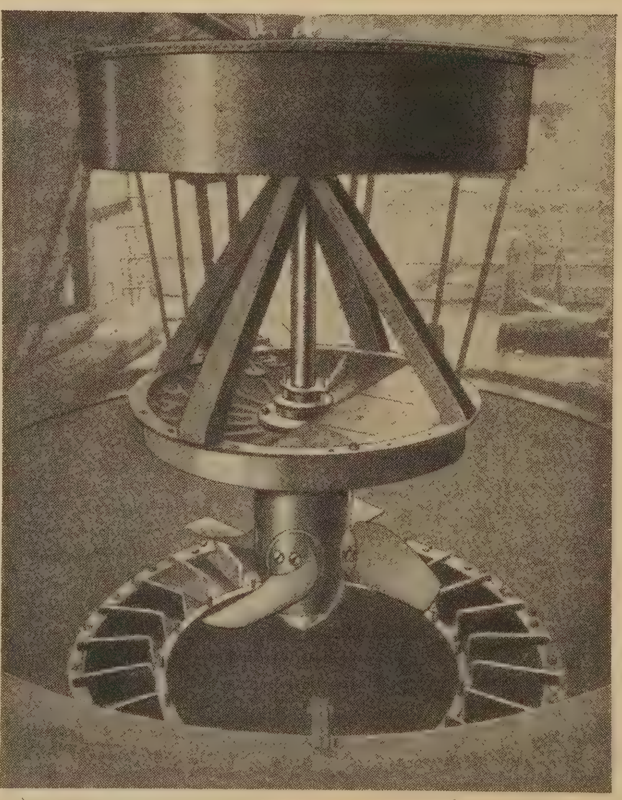


Abb. 3. Versuchsturbine der Anlage Podjebrad. Laufrad und Lagerung mit Bremse hochgehoben

Die Turbine wurde durch zwei gußeiserne Kegel mit dem Betonbau verbunden. Das Saugrohr der besonderen Kaplan-Bauart war aus Holz gezimmert und endete vor den Abdämmfalzen im Unterwasser. Zur Leistungsmessung an der Kaplanturbine wurde wegen des nur engen zur Verfügung stehenden Raumes eine Bandbremse angeordnet, deren einwandfreies Arbeiten bei Beginn der Vorversuche große Schwierigkeiten verursachte, die jedoch nach vielen Bemühungen so weit überwunden wurden, daß diese Bremse eine Empfindlichkeit von ± ½ vH sicher erreichte[2]). Die große Trockenheit und die Wasserarmut der Elbe im Sommer 1921 erschwerten und verlangsamten die eigentlichen Versuchsarbeiten außerordentlich, so daß von den acht Kaplanturbinen oder Laufrädern nur drei vollkommen abgebremst werden konnten.

Abb. 4. Ergebnisse der Versuche in Podjebrad im November 1921.

Nach Abschluß der Vorversuche wurde ein Laufrad mit einer spez. Drehzahl von $n_s = 700$ ausgewählt und das tschechoslowakische Ministerium für öffentliche Arbeiten eingeladen, eine amtliche Bremsung vorzunehmen, mit deren Durchführung Prof. Dr. Jar. Hýbl als Bremsleiter vom genannten Ministerium betraut wurde. Die Bremsung erfolgte am 10. und 11. November 1921 und hatte die in Abb. 4 wiedergegebenen Ergebnisse. Die Wassermenge wurde mittels Voltmannflügel gemessen; das Ergeb-

[1]) s. „Wasserkraft" Bd. 1 (1919) Heft 17.

[2]) s. Prof. Dr. Hýbl in Zprávy veřejné sluzby technické Bd. 4 Nr. 4; deutsche Übersetzung „Die Wasserkraft" Bd. 17 (1922) Heft 12 und 13; s. a. „Strojnický Obzor" 1923 Nr. 2, 4 und 5, Ing. Josef Linsbauer: Zkusební turbina Storek-Kaplanova v Podébradech.

nis ist in der Kurve U' festgelegt. Sie stellt die Einhüllende der vier Wirkungsgradkurven bei Leitradregelung dar, also die Kurve der Wirkungsgrade bei Verstellung von Lauf- und Leitrad.

Am 28. November 1921 entschloß sich Prof. Dr. Hýbl zu einer Kontrollwassermessung mit Salzlösung. Diese Messung ergab Werte, die um 2 bis 3 vH niedriger liegen, als die mit Voltmannflügel ermittelten. In Abb. 4 ist dies die Kurve U. Die in den Kurven bei Leitradregelung bemerkbaren Einbeulungen sind auf eine im Saugrohr aus Festigkeitsrücksichten angebrachte Holzmittelwand zurückzuführen.

Durch die vorliegende Bremsung wurde der Beweis für die Wirtschaftlichkeit von größeren Kaplanturbinen erbracht.

Bei den Podjebrader Versuchen von 1921 versagten jedoch die Laufräder mit höherem n_s, die nach den ursprünglichen Angaben ausgeführt wurden, vorläufig im Gegensatz zu ihren Ergebnissen im Firmenlaboratorium, weshalb die weiteren Versuche auf das Jahr 1922 verschoben und im Winter auf Grund der gewonnenen Erfahrungen neue Storek-Kaplanräder konstruiert und ausgeführt wurden.

Die Versuche setzten im Frühjahr 1922 ein und gingen, da genügend Wasser in der Elbe vorhanden war, flott von statten. Zunächst wurde an der Hand der bereits im Vorjahre geprüften Räder das einwandfreie Arbeiten der gesamten Versuchsanlage nachgeprüft. Hierauf wurde zu Abbremsung neuer Räder geschritten. Als erstes dieser Versuchsreihe wurde ein Vierschaufler gebremst, der für die von der Firma Ignaz Storek erstandenen Turbinen der Wasserkraftwerke Kremsier a. d. March (Landesausschuß Mähren) und Nymburg a. d. Elbe (Ministerium für öffentliche Arbeiten) bestimmt war. Die aus dieser Bremsung gewonnenen und zu einer Muschelkurve vereinigten Werte sind in Abb. 5 und 6 dargestellt. Die Muschelkurve, Abb. 5, an einem Rad von 1800 mm Dmr. erhalten, zeigt, daß dieses Rad noch bis zu $n = 1200$ verwendbar ist, wobei die Regulierkurve bei halber Wassermenge 75 vH Wirkungsgrad ergibt.

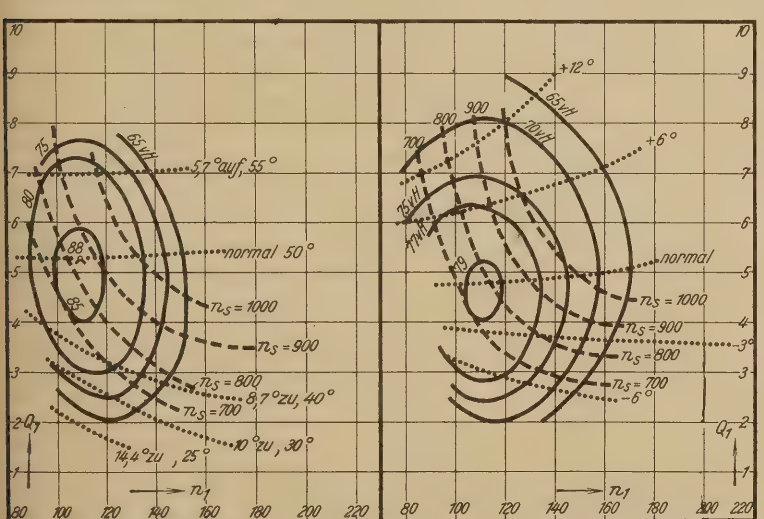


Abb. 7. Laufrad-Dmr. = 1800 mm. Abb. 8. Laufrad-Dmr. = 184 mm.
Abb. 7 und 8. Bremsergebnisse von Vierschauflern für $n_s = 900$.

Von den übrigen gebremsten Laufrädern, deren Bremsergebnisse nicht in den Rahmen dieser Veröffentlichung fallen, seien noch die Muschelkurven eines Laufrades mit $n_s = 900$ gezeigt; dieses Laufrad ergibt nach Abb. 7 und 8 gute Wirkungsgrade für veränderliche Wassermengen bei nicht stark schwankenden Gefällverhältnissen.

Das Vergrößerungsgesetz bei Kaplanturbinen.

Weiter wurden noch die verschiedensten Versuche rein theoretischer Natur, Versuche mit Störungskörpern an den Schaufeln, aufgerauhten Schaufeln usw. durchgeführt, Versuche, die wertvolles Material ergaben. Das wichtigste Ergebnis der Podjebrader Versuche war die Ermittlung jener Laufräder, die dem Vergrößerungsgesetze folgen und das Finden jener Laufradcharakteristiken, die zu dem obigen Endzwecke notwendig sind. Prof. Camerer hat das Vergrößerungsgesetz für Francisturbinen aufgestellt[1]) und gefunden, daß mit größer werdendem Laufraddurchmesser bei Turbinen gleichen Charakters der Wirkungsgrad steigt. Er hat demnach gefunden, daß man nach kleinen Francisturbinen wohl große, aber nicht umgekehrt bauen kann, bei selbstverständlicher Berücksichtigung der Gefäll- und sonstigen Verhältnisse. Dieses Gesetz zeigt sich nunmehr auch bei den von Storek gebauten Kaplanturbinen. Als Beispiel hierfür zeigt Abb. 9 das Größerwerden des Wirkungsgrades mit wachsendem Durchmesser bei einer jener charaktergleichen Laufradgruppen, deren Bremsergebnisse jeweils bei Bremsungen durch unparteiische Sachverständige erhalten worden sind. In der Versuchsanstalt der Firma Storek sind in der Zeit vom 31. Juli bis 4. August 1921 Leistungsversuche an einer Kaplanturbine von 300 mm Laufrad-Dmr. vorgenommen worden[2]). Diese ergaben für $n_s = 700$ bis 800 die in Abb. 9 punktiert ge-

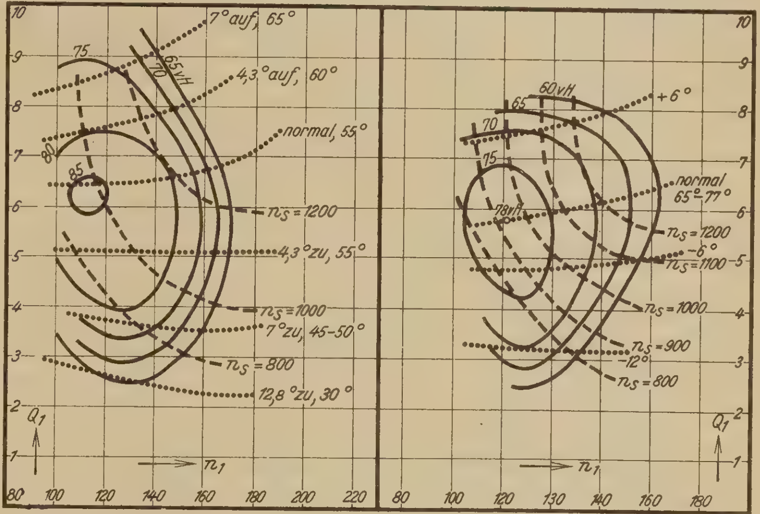


Abb. 5. Laufrad-Dmr. = 1800 mm. Abb. 6. Laufrad-Dmr. = 184 mm.
Abb. 5 und 6. Ergebnisse der Versuche in Podjebrad im Frühjahr 1922. Vierschaufler für $n_s = 1000$.

zeichnete Wirkungsgradkurve, wobei die Werte auf 1800 mm Dmr. umgerechnet wurden. Die Kurve ist in Gegenwart der Vertreter des Kaplan-Turbinen-Konzerns und Prof. Kaplans unter Leitung von Prof. Dr. Meixner erhalten worden. Als zweite Größe eines Laufrades von $n_s = 700$ sei die Bremsung der Turbine in Velm herangezogen. Diese hat einen Laufraddurchmesser von 600 mm und ergab bei einer Bremsung durch Sachverständige eine Wirkungsgradkurve, die in Abb. 9 gestrichelt eingezeichnet ist, wobei die Werte ebenfalls auf 1800 mm Dmr. umgerechnet wurden[3]). Als Bremskurve für 1800 mm Laufrad-Dmr. sei die von Prof. Dr. Hýbl in Podjebrad ermittelte Kurve, in Abb. 9 voll eingezeichnet, verwendet.

Abb. 9 zeigt das Wachsen des Wirkungsgrades: 300 mm Laufrad-Dmr. 83 vH, 600 mm Dmr. 86 vH und 1800 mm Dmr. 89,7 vH als Höchstwerte. Die Kurve, Abb. 10, wurde erhalten, indem als Abszisse die Laufrad-Dmr., als Ordinaten die Wirkungsgrade, bezogen auf $Q_1 = 4{,}45\ m^3/s$ (nach Abb. 9), aufgetragen wurden. Diese Kurve zeigt eine deutliche Übereinstimmung mit dem Vergrößerungsgesetze nach Camerer. Das gleiche Vergrößerungsgesetz lassen auch die Kurven Abb. 5 bis 8 erkennen.

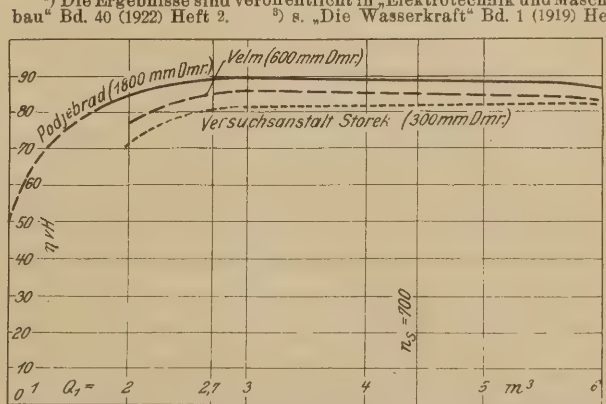


Abb. 9. Anwachsen des Wirkungsgrades gleichartiger Laufräder bei verschiedenen Durchmessern; alle Durchmesser auf 1800 mm umgerechnet

[1]) s. Camerer, Vorlesungen über Wasserkraftmaschinen, S. 415 bis 416.

[2]) Die Ergebnisse sind veröffentlicht in „Elektrotechnik und Maschinenbau" Bd. 40 (1922) Heft 2. [3]) s. „Die Wasserkraft" Bd. 1 (1919) Heft 17.

Mit dem in Podjebrad, andernorts und im Fabriklaboratorium festgelegten Vergrößerungsgesetz war es jedoch wegen des geringen Gefälles von 2,4 und 3 m unmöglich, die in der Praxis besonders bei hohen Schnelläufern sehr störend auftretenden Hohlräume im Wasserstrom aufzuklären.

Abb. 10. Beziehungen zwischen Wirkungsgrad und Durchmesser gleichartiger Kaplanlaufräder.

Die Firma F. Schmitt in Iserthal, Böhmen, stellte nun ihre Wasserkraft der Firma Ignaz Storek in entgegenkommendster Weise für die Aufstellung einer Versuchsturbine zur Verfügung. Hier wurden nun Versuche über die Ungleichförmigkeit der Wasserstromquerschnitte durchgeführt. Die Versuchsanordnung ist aus Abb. 11 ersichtlich.

Durch Längenveränderung des Zulaufrohres bei gleichzeitigem Senken des Kessels der Kaplanturbine war es möglich, bei veränderlichen Saughöhen Laufräder verschiedener Schnelläufigkeit, ferner Laufräder gleicher Schnelläufigkeit und verschiedener

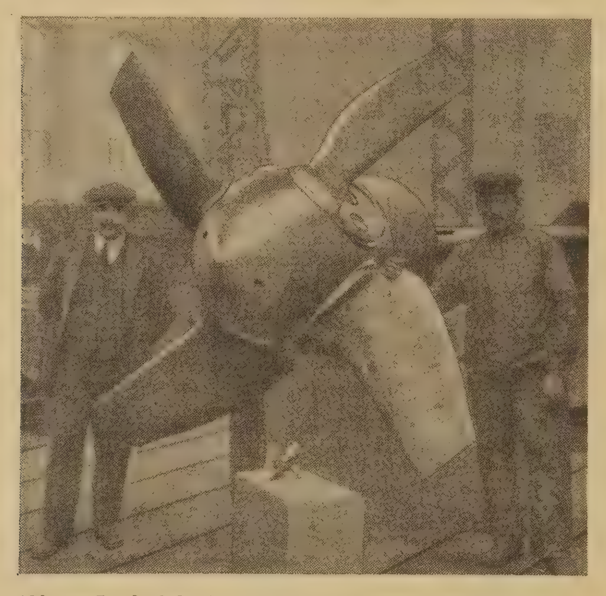


Abb. 12. Laufrad der Kremsier-Turbine von 2200 mm Dmr. im Vergleich zu dem Versuchslaufrad von 184 mm Dmr.

Leit- und Laufschaufelformen sowie verschiedener Laufradkammerformen zu prüfen. Um die Wasserströmungen im Krümmer und Saugrohr verfolgen zu können, waren beide an den notwendigen Stellen durchbrochen und mit Glas abgedeckt. An der Hand der bisherigen Erfahrungen und theoretischen Erwägungen wurden Versuchsreihen zur Bestimmung des Einflusses der verschiedenen Schaufellängen und Formen usw. für möglichst hohlraumfreien Wasserstrom ermittelt.

Angaben über die Versuchsturbine: Kesselturbine mit Rohrzuleitung, Laufrad-Dmr. = 184 mm, $H = 6{,}5$ m, $Q = 200$ l/s, $n = 1800$ bis 4000 Uml./min, Durchgehdrehzahl 3500 bis 7000 Uml./min, Lagerung der Turbinenwelle in Kugellagern. Wassermessung: Ein großer, im Fabriklaboratorium geeichter Flügel wurde

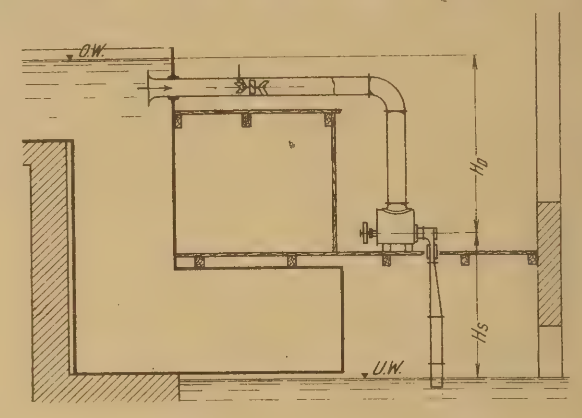


Abb. 11. Versuchsanlage in Isertal in Böhmen.

im Zulaufrohr der Turbine eingebaut und an Ort und Stelle abermals geeicht. Bremsvorrichtung: Pronyscher Zaum aus geöltem Holz auf Chromnickelstahl-Bremsscheibe mit Innenwasserkühlung; die Bremse arbeitete einwandfrei. Gefällmessung: im Oberwasser Glasstandrohr, im Unterwasser Schwimmer, Umlaufzahlmessung durch ständig mitlaufendes Tachometer und durch unmittelbar summierenden Zähler mit Stoppuhr.

Die mechanische Ausführung der Turbine genügte allen Anforderungen. Die im Höchstfall erreichte geometrische Saughöhe betrug 4,5 m. Diese Versuche ergaben Schaufelformen, die mit den ursprünglichen gar keine Ähnlichkeit mehr aufweisen. Verschiedene in der Praxis sich gut bewährende Storek-Kaplan-Turbinen[1]) zeigen die Erfolge der Iserthaler Bremsversuche.

Nach dem Vorgesagten erhellt, daß auch in Europa Ersprießliches im Propellerturbinenbau geleistet, daß hier m. W. die größte und kleinste Versuchsturbine der Welt ausgeführt und geprüft wurde und daß die ersten Turbinen mit regelbaren Laufradflügeln überhaupt hier gebaut und betrieben worden sind. Selbstverständlich wurden bei den angeführten Versuchen reiche, den Propellerturbinenbau sichernde Unterlagen gesammelt.

Die Turbinen des ersten mit größeren Flügelradturbinen, Abb. 12, für selbsttätige Laufradregelung ausgeführten und seit dem 23. Juli 1923 im Betriebe befindlichen Wasserkraftwerkes, Kremsier a. d. March, weisen folgende Konstruktionszahlen auf: Laufrad-Dmr. = 2200 mm, $n_s = 1000$ bis 1100, $Q = 22\ m^3/s$ (für eine Turbine), $H = 4{,}4$ m. Da die amtliche Bremsung noch nicht durchgeführt worden ist, enthalte ich mich vorläufig der Mitteilung der Bremsergebnisse. [A 153]

[1]) Es seien genannt: C. A. Scholtz, Metallwarenfabrik in Matejovce in der Slovakei; Brüder Soyka, Papierfabrik, Weißkirchen a. d. Neiße in Böhmen; Franz Preidl, Spinnerei in Böhm. Kamnitz; Ing. R. Petr, Elektrizitätswerk, Komein bei Brünn in Mähren; Friedrich Ulrich & Sohn, Bleiche und Appretur, Reutenhau in Nordmähren; Drehersches Forstamt, Weyer a. d. Enns, Anton Eugen Dreher, Kl. Schwechat; Anton Jelinek, Lederfabrik in Velké Meziricí in Mähren; Städtisches Elektrizitätswerk in Niemes in Böhmen; Fritsch & Co., Textilfabrik in Haindorf bei Reichenberg in Böhmen.

Wirtschaftliche Vergasung mulmiger Rohbraunkohle.

Die Brennkrafttechnische Gesellschaft E. V. hatte im Sommer 1922 ein Preisausschreiben erlassen, um Vorschläge für die wirtschaftliche Vergasung mulmiger, grubenfeuchter Rohbraunkohle zu erhalten. Zu dieser technisch äußerst schwierigen Aufgabe sind sieben Arbeiten eingereicht worden, und das Preisgericht hat am 22. Februar 1924 nach eingehender Prüfung sein Urteil gefällt. Der erste Preis wurde Dipl.-Ing. H. R. Trenkler, Berlin-Steglitz, erteilt, während zwei zweite Preise dem Weigel-Werk A.-G. in Neisse-Neuland sowie P. Großmann und Hugo Dicke jun., Bremen, zugeteilt wurden.

Die von Trenkler eingereichte neuartige Lösung schlägt in der Hauptsache einen Betrieb unter Benutzung vorgewärmter Vergasungsluft vor, um dadurch das sonst nicht vorhandene Wärmegleichgewicht in der Vorbereitungszone des Gaserzeugers zu erreichen, so daß die Vorgänge der Trocknung, Anwärmung und Entschwelung in entsprechender Folge und regelmäßig vor sich gehen. Dieses Verfahren macht eine Vertrocknung des Brennstoffes überflüssig und bietet gegenüber dieser bekannten Lösung ganz erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Da aber bei der Rohbraunkohlen-Vergasung stets mit geringen Vergasungsleistungen wegen der dichten Lagerung der Aschenschicht zu rechnen sein wird, wird auch eine besondere Gaserzeugerbauart vorgeschlagen, die als kammerförmig unterteilter Großleistung-Gaserzeuger mit Treppenrost am Umfang und gemeinschaftlichem Drehrost in der Mitte ausgebildet ist. Auch die andern Arbeiten bieten beachtenswerte Anregungen, sie werden in Kürze veröffentlicht werden. [M 300]

Zur Kenntnis der Heiz- und Treiböle.

Von Dr. D. Aufhäuser, Hamburg.

Vorgetragen auf der Öltagung in Hamburg am 1. März 1924[1]).

Der Destillationsgrad ist das wesentliche und unterscheidende Merkmal schon bei der Verarbeitung von Erdöl und Steinkohlenteer. Die Eigenschaften der Heiz- und Treiböle sind deshalb Funktionen des Destillationsgrades, die Verbrennung selbst ist ebenfalls ein fraktionierter Vorgang. Die bisherige Methode der Flammpunktbestimmung ist für den Dieselmotorbetrieb bedeutungslos.

Einteilung der flüssigen Brennstoffe.

Flüssige Brennstoffe sind je nach ihrer Verwendung Heizöle oder Motorentreibmittel. Bei den Treibmitteln unterscheidet man wieder solche für Explosionsmotoren (Motoren mit Vergaser) und solche für die eigentlichen Verbrennungsmotoren (Dieselmotoren).

Grundsätzlich wichtig ist vor allem die Feststellung, daß bei allen flüssigen Brennstoffen und bei jeder Art ihrer Verwendung der flüssige Aggregatzustand an und für sich nicht das Wesentliche ist. Wesentlich ist vielmehr die Kontinuität des Aggregatzustandes; d. h. alle diese Brennstoffe sind „wärmebeständig" und lassen sich ohne Zersetzung mit mehr oder minder großer Vollkommenheit in den gas- oder dampfförmigen Zustand überführen. Aus diesem Grunde rechnet man zu den flüssigen Brennstoffen auch gewisse feste Stoffe, wenn sie, wie Naphthalin, Paraffin, Anthrazen, ohne Zersetzung geschmolzen und verdampft werden können.

Jede Art von Verbrennung ist ein rein gasförmiger Vorgang, und die Unterscheidungsmerkmale liegen deshalb in der mehr oder minder großen Vollkommenheit, womit die Vergasung oder Verdampfung des Brennstoffes stattfindet. Bei den Explosionsmotoren vergast der Brennstoff ganz getrennt von der Verbrennung und schon bei gewöhnlicher Temperatur. Bei den Dieselmotoren finden Verdampfung und teilweise Aufspaltung des Brennstoffes erst bei höheren Temperaturen und unmittelbar vor der Verbrennung statt; bei der Ölfeuerung endlich bildet sich ebenfalls vor der Verbrennung ein Ölgas, aber erst bei verhältnismäßig hohen Temperaturen und nicht vollkommen, so daß Zersetzungen (Koksbildung) mit auftreten. Diese Betrachtungsweise ist für Definition und Unterscheidung der Heiz- und Treiböle die wichtigste und zugleich die einfachste; sie bringt nämlich die verschiedenen Arten der Verwendung der flüssigen Brennstoffe in eine einfache Beziehung zu den Siedegrenzen. Ein Betriebstoff für einen Explosionsmotor bedingt immer einen leicht siedenden Anteil, das Treiböl für den Dieselmotor immer Anteile von mittlerer Siedegrenze, Heizöl endlich hoch siedende Anteile oder Destillationsrückstände. Als „leicht siedend" bezeichnet man Anteile, die bis ungefähr 150 °C übergehen, als mittlere Siedegrenze gilt der Temperaturbereich von 230 bis 300°, hoch siedende Teile gehen erst bei mehr als 300° über. Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, daß der Temperaturbereich von 150 bis 230°, der etwa dem Leuchtpetroleum entspricht, für die Verbrennungstechnik keine Bedeutung hat.

Zahlentafel 1[2]).

Art und Verwendung der Anteile (Fraktionen) aus der Destillation von Erdöl und Steinkohlenteer

Stammsubstanz	Destillate				Rückstand
	Leichte für Explosionsmotoren	Mittlere für Verbrennungsmotoren (Dieselmotoren)		Schwere für Verbrennungsmotoren (Dieselmotoren)	für Ölfeuerung
Erdöl	Benzin bis 150° spez. Gew. 0,7—0,75	Leuchtöl 150°—270° spez. Gew. 0,80—0,83		Gasöl 270°—300° spez. Gew. 0,85—0,88	Heizöl; Masut in Rußland, Pacura in Rumänien (außerdem Verarbeitung auf Schmieröle)
Steinkohlenteer	Leichtöl (Rohbenzol) bis 170° spez. Gew. 0,91—0,96	Mittelöl 170°—230° spez. Gew. 1,02	Schweröl 230°—270° spez. Gew. 1,05	Anthrazenöl 270°—350° spez. Gew. 1,10	Pech[3]) weich, mittelhart oder hart, als Bindemittel für Steinkohlenbriketts verwendet

Durch diese Einteilung und Unterscheidung der flüssigen Brennstoffe nach ihrer Verwendung oder Siedegrenze ist weiter eine Beziehung zu ihrer Entstehung und Herstellung gegeben. Alle flüssigen Brennstoffe lassen sich auf Steinkohlenteer und Erdöl und in untergeordnetem Maß auf Braunkohlenteer zurückführen.

Der rohe Steinkohlenteer wird, ebenso wie das rohe Erdöl, durch fraktionierte Destillation systematisch verarbeitet und verwertet; die Übersicht in Zahlentafel 1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Fabrikationsgang und der Verwendung der einzelnen Anteile.

Es liegt im Wesen einer Destillation und wird durch die Siedekurve versinnbildlicht, daß es keine ganz scharfe Trennung der einzelnen Fraktionen gibt. Deshalb sind unbeschadet der vorstehenden Unterscheidungsmerkmale für Heiz- und Treiböle immer Änderungen in den Siedegrenzen möglich und in der Praxis auch zu beobachten.

Die beiden Stammprodukte, Steinkohlenteer und Erdöl, sind in ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihren Eigenschaften vollständig verschieden, und dies bedingt einige Unterschiede in ihrer Verarbeitung. Die Einteilung in leichte, mittlere und schwere Fraktionen gilt wohl für beide, aber mit dem Unterschied, daß man beim Steinkohlenteer schon von 230° an die Fraktion als „schwer" zu bezeichnen pflegt. Ein weiterer Unterschied ist, daß beim Steinkohlenteer immer ein fester Destillationsrückstand, das Pech, erhalten wird, der als Brennstoff nicht unmittelbar verwendbar ist und anders (bei der Brikettierung) verwertet wird. Übrigens hat man auch beim Gasöl die Temperaturgrenze nach unten bis 230° erweitert, weil das Gasöl gegenüber dem Leuchtpetroleum immer größere Bedeutung gewinnt.

Der Unterschied in der chemischen Zusammensetzung der Steinkohlenteer- und der Erdölprodukte ist für die Verbrennungsvorgänge sehr wichtig und hat, wie bekannt, in der Geschichte und Entwicklung des Dieselmotors eine große Rolle gespielt. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle darauf im einzelnen einzugehen. Grundlegend wichtig aber ist folgendes:

Die Steinkohlenteerprodukte sind ringförmige Kohlenwasserstoffe von der Art des sogenannten Benzolringes oder mehrfache Benzolringe, wie Naphthalin und Anthrazen. Ihr Kennzeichen ist, daß das Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff kleiner als 1 ist.

Benzol . . . . . . C_6H_6 . . . . $H:C = 1 : 1$
Naphtalin . . . . $C_{10}H_8$ . . . . $H:C = 0{,}8 : 1$
Anthrazen . . . . $C_{14}H_{10}$ . . . $H:C = 0{,}7 : 1$

Die Erdölprodukte sind sogenannte kettenförmige (offene) Kohlenwasserstoffe von der allgemeinen Formel

$$C_n H_{(2n+2)} \quad H:C = (2n+2):n.$$

Wie die Formel zeigt, nähert sich hier das Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff dem Wert 2. Die Zahl der Kohlenstoffatome ist unbegrenzt, kommt aber im Aggregatzustand zum Ausdruck. In der Tat können wir diese Kohlenwasserstoffe in einer ununterbrochenen Reihe verfolgen, die vom Leuchtgas über Benzin, Leuchtpetroleum, Gasöl, Heizöl bis zur Paraffinkerze führt.

Die Treiböle, die aus Braunkohlenteer gewonnen werden, sind in chemischer Hinsicht vollständig verschieden vom Steinkohlenteer und stimmen chemisch viel eher mit den Petroleumdestillaten überein. Das Braunkohlenteeröl, auch Paraffingasöl genannt, ist sogar dasjenige Produkt, auf welches man den Namen „Gasöl" zu allererst angewandt hat, als die Dieselmotoren überhaupt noch keine praktische Bedeutung hatten.

Die Unterscheidung der Heiz- und Treiböle ergibt sich also aus den Siedegraden und daneben aus der Herkunft, wobei Steinkohlenteerprodukte auf der einen und Petroleum- und Braunkohlenteerprodukte auf der andern Seite stehen.

Eigenschaften der Treiböle für Dieselmotoren.

Von dieser Grundlage aus muß man die übrigen Eigenschaften betrachten, die besonders für Dieselmotoren-Treibmittel wichtig sind und zur Aufstellung von Vorschrift[en] geführt haben.

---

1) Die übrigen Vorträge werden, zu einem Fachheft für flüssige Brennstoffe zusammengefaßt, in Nr. 18 dieser Zeitschrift erscheinen. Auch den vorliegenden Aufsatz dort unterzubringen, war leider wegen Raummangels nicht möglich. Die Schriftleitung.

2) Aus Dr. Aufhäuser, „Brennstoffe und Verbrennungsvorgang". Berlin 1921. V. d. I.-Verlag G. m. b. H.

3) Beim Steinkohlenteer wird als „Heizöl" das schwerste Anthrazenöl und daneben auch dünnflüssiger Rohteer verwendet, nicht aber das Pech.

Es gibt für die Dieselmotoren-Treiböle beinahe verwirrend viele Untersuchungsmethoden und Festwerte. Man gelangt aber auch hier zu einem einfachen und übersichtlichen Bild, wenn man sich vom unmittelbaren Vergleich mit den Brennstoffen im allgemeinen (Kohlen) freimacht und sich vergegenwärtigt, daß die flüssigen Brennstoffe Gemische von Kohlenwasserstoffen, also immerhin von chemisch bestimmten Verbindungen sind. Dann zeigen nämlich alle Eigenschaften der Treiböle gesetzmäßige Zusammenhänge.

An erster Stelle steht und entscheidet die Destillationsfähigkeit. Die Güte des Treiböles bestimmt die Menge der bis zu 300° siedenden Anteile, wovon die besten Petroleumgasöle bis 90 vH und die besten Steinkohlenteeröle mindestens 60 vH enthalten sollen. Eine Vorschrift über den Siedebeginn gibt es dagegen nicht und ist auch nicht notwendig. Das beste Treiböl ist immer dasjenige, dessen Siedekurve von etwa 230 bis 300° möglichst regelmäßig ist.

Alle andern Eigenschaften sind Funktionen des Destillationsverlaufes und deshalb für sich allein nicht von Bedeutung. So macht z. B. ein hoher Heizwert allein ein Treiböl nicht brauchbar, wenn sein Destillationsverlauf schlecht ist, s. Abb. 1. Ein solcher Fall ist indessen gar nicht denkbar, denn zwischen dem Destillationsverlauf und den übrigen Eigenschaften bestehen zwangläufige Beziehungen, die zu einer einfachen und kritischen

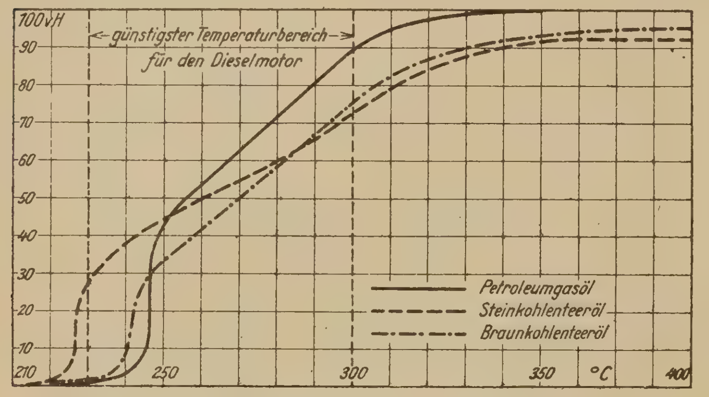


Abb. 1. Destillationskurve und Festwerte von guten Treibölen aller drei Arten.

Art des Treiböles	Spez. Gewicht bei 15°	Heizwert kcal/kg	Chemische Zusammensetzung Kohlenstoff C vH	Wasserstoff H vH	Sauerstoff O vH	Schwefel S vH	Atomverhältnis[1] H : C = x : 1
Petroleum-Gasöl . . .	0,88	10 250	85,0	13,0	1,7	0,3	1,81 : 1
Braunkohlen-Teeröl . . .	0,92	9 600	84,0	11,0	4,3	0,7	1,49 : 1
Steinkohlen-Teeröl . . .	1,04	9 100	89,0	7,0	3,5	0,5	0,88 : 1

[1]) Für die Berechnung des Atomverhältnisses sind die Atomgewichte H = 1, C = 12 und der Gehalt an freiem Wasserstoff $H - \frac{O}{8}$ maßgebend. Die Formel für die Berechnung lautet demgemäß: $\left(H - \frac{O}{8}\right) ; \frac{C}{12} = x : 1$.

Übersicht führen. Beim Vergleich zweier Gasöle kann man sagen: Das Gasöl mit der besseren Siedekurve hat auch den höheren Heizwert, den höheren Gehalt an Wasserstoff, das kleinere spezifische Gewicht, die kleinere Viskosität und den niedrigeren Flammpunkt und umgekehrt. Das spezifische Gewicht hat deshalb, für sich allein betrachtet, überhaupt keine Bedeutung, wenn man danach nicht auf Grund früherer Erfahrungen auf den Destillationsverlauf schließen kann. Der Heizwert hat eher eine rechnerische Bedeutung. Er ist bei Petroleumgasölen immer größer als 10 000 kcal/kg und erreicht bis zu 10 300 kcal/kg, Steinkohlenteeröle haben Heizwerte von 8900 bis 9200 kcal/kg, während die Braunkohlenteeröle mit 9200 bis 9600 kcal/kg in der Mitte stehen. Bei gleichartigen Ölen und genügender Erfahrung sind Rückschlüsse aus solchen Festwerten immer möglich und nützlich; aber man muß sich vor Augen halten, daß für die Sicherheit und Regelmäßigkeit des Dieselmotorenbetriebes nur der Destillationsverlauf des Treiböles den Ausschlag gibt.

Eine besondre kritische Betrachtung verdient der Flammpunkt, insofern, als die Wertlosigkeit der bisherigen Bestimmung dargetan werden soll. Der in offenen oder geschlossenen Tiegeln bestimmte Flammpunkt ist die Temperatur, bei welcher der Brennstoff bei Berührung mit einer Zündflamme erstmals kurz aufflammt. Dieser Flammpunkt bezeichnet die erste und ganz geringfügige Gasentwicklung und ist deshalb auch verschieden von derjenigen Temperatur, bei welcher das Öl tatsächlich brennt (Brennpunkt). Im Dieselmotor herrschen ganz besondere Verhältnisse, weil im Zylinder ein Druck von 30 at und mehr vorhanden ist und Selbstzündung des Öles eintreten soll. Auch abgesehen von der Selbstzündung bedingt der Druck allein schon, daß der Flammpunkt um mindestens 300° höher liegt, weil der Druck der Dampfentwicklung stark entgegenwirkt.

Bei Selbstentzündung kommen ferner Zersetzungsvorgänge im Treiböl in Betracht, die unmittelbar vor der Verbrennung stattfinden und bei denen Wärme frei wird. Diese Vorgänge haben eine große Rolle bei den ersten Versuchen mit Steinkohlenteeröl im Dieselmotor (Rieppel) gespielt, und sie werden geradezu bewiesen durch die Unterschiede im Verhalten von Steinkohlenteeröl sowie Petroleumgasöl und Braunkohlenteeröl. Die Erklärung für diese Unterschiede liegt darin, daß sich die offenen kettenförmigen Wasserstoffe des Petroleum- und des Paraffingasöls leichter als die ringförmigen Kohlenwasserstoffe des Steinkohlenteeröles zersetzen oder aufspalten. Ein solches Aufspalten ist aber Voraussetzung für die Selbstzündung im Zylinder. Die Zündung selbst wird neben der Kompressionswärme durch die Wärme herbeigeführt, die bei der Zersetzung der Kohlenwasserstoffe frei wird, und dann durch die katalytische Wirkung des hoch erhitzten Metalls. Katalytische (chemisch vermittelnde) Wirkungen brennbaren Gasen gegenüber treten eigentlich bei jedem hoch erhitzten Metall auf und spielen deshalb bei der Selbstzündung eine größere Rolle, als man bisher angenommen hat.

Die Unterschiede in der Zündfähigkeit von Steinkohlenteerölen und von Gasölen aus Petroleum haben also im chemischen Aufbau dieser Treibmittel ihren Grund. Praktisch hat man das schon längst durch den Gebrauch und die Auswahl der sogenannten Zündöle erkannt. Die Flammpunkte, die nach der bisherigen Methode ermittelt werden, liegen für Treiböl beliebiger Herkunft zwischen 80 und 110°; sie besagen aber für die Zündung im Verbrennungszylinder gar nichts. Ein Petroleum-Gasöl mit dem Flammpunkt 110° zündet z. B. im Zylinder leichter, als ein Steinkohlenteeröl mit dem Flammpunkt von 80°.

Der Schwefelgehalt der Treiböle liegt im allgemeinen unter 0,5 vH. Selbst wenn das Stammprodukt viel Schwefel enthielt, so reichert sich dieser bei der Destillation vorzugsweise in den hochsiedenden Anteilen, also in den Heizölen, an. Trotzdem können Treiböle auch 1 vH Schwefel und mehr enthalten, besonders Petroleumgasöle, weil das rohe Erdöl in bezug auf den Schwefelgehalt viel stärker als z. B. Steinkohlenteer schwankt.

Von unlöslichen Bestandteilen, die man nicht ganz richtig als freien Kohlenstoff bezeichnet, soll ein gutes Steinkohlenteeröl nur Spuren enthalten, weil es sonst schon die Anforderungen an den Destillationsverlauf nicht erfüllen würde. Das gleiche gilt auch für den Rückstand der Verkokung, der nicht mehr als 3 vH betragen soll.

Unverbrennliches ist in gut destillierten Treibölen nur in verschwindend kleiner Menge vorhanden. Das gilt in erster Linie von mineralischen Teilen (Asche), die von 0,05 bis 0,075 vH schwanken und dabei sehr oft fremdartigen Ursprungs sind, z. B. von Tankverunreinigungen (Rost usw.) herrühren.

Der Wassergehalt beträgt bei Petroleumgasöl 0,5, bei Steinkohlenteeröl 1 vH. So kleiner Wassergehalt wirkt nicht störend, ganz wasserfreie Treiböle kann man bei fabrikmäßiger Destillation auch nicht erhalten. Ganz geringe Mengen von Wasser im Treiböl und auch in der Verbrennungsluft können übrigens bei der Verbrennung günstig katalytisch wirken.

Als unverbrennbarer Bestandteil könnte überhaupt nur die Asche in die Erscheinung treten. Wenn sich deshalb im Zylinder Rückstände bilden, so sind das nicht unverbrennliche, sondern schwer verbrennliche Bestandteile. Schwerverbrennlich im Dieselmotor sind kohlenstoffreiche Rückstände und Zersetzungsprodukte sowie Kohlenstoffabscheidungen (Koks) des Treiböles.

In diesem Zusammenhang sind auch besondre chemisch bestimmte Bestandteile zu erwähnen, deren Eigenschaft und Verhalten nicht immer richtig gedeutet wird. Beim Petroleumgasöl ist dies der Asphalt. Man versteht darunter sauerstoffreiche Verbindungen, die sich durch Oxydation im rohen Erdöl gebildet haben. Sie sind nicht destillierbar, und wenn sie in Petroleumölen in größeren Mengen vorkommen, wie z. B. im Petroleumbeizöl, dem sogenannten Rohöl, so kann man solche Öle im Dieselmotor überhaupt nicht vollständig verbrennen. Das Petroleumgasöl kann, als durch Destillation gewonnen, im frischen Zustand überhaupt keinen Asphalt enthalten. Zwar findet im destillierten Petroleumgasöl eine ganz geringe Oxydation statt,

die mit zum Nachdunkeln beiträgt. Die hierbei entstehenden Mengen von Asphalt sind aber so verschwindend, daß sie durch die Wucht der Verbrennung zersetzt und dann verbrannt werden. Der Asphaltgehalt im rohen Erdöl schwankt außerordentlich, und deshalb kann man die Frage, ob man schwerere Öle, die sogenannten Rohöle, im Dieselmotor verwenden kann, eigentlich nur von Fall zu Fall entscheiden. Die Frage ist für die Seeschiffahrt besonders wichtig; die Entscheidung hängt damit zusammen, wieviel Asphalt und andre hochsiedende Bestandteile der betreffende Dieselmotor vertragen kann. In Amerika hat man dafür eine recht gute Norm aufgestellt, indem man als schwer verbrennlich den Asphalt zusammen mit andern Bestandteilen bezeichnet, die bei der Destillation bei 20 mm Q.-S. Unterdruck bis zu 300° noch nicht übergegangen sind.

Beim Braunkohlenteeröl tritt als normaler und sogar erwünschter Bestandteil das Paraffin auf. Das Paraffin hat eine für den Dieselmotorbetrieb vorzügliche chemische Zusammensetzung, weil das Verhältnis Wasserstoff zu Kohlenstoff, beide im ganzen betrachtet, ebenso günstig, wie im Petroleumgasöl oder Braunkohlenteeröl ist. Nur muß man berücksichtigen, daß die Destillation des Paraffins erst über 300° beginnt und deshalb das Braunkohlenteeröl keine unbegrenzte Menge davon, sondern nur rd. 10 bis 12 vH, enthalten darf.

Ein andrer spezifischer Bestandteil des Braunkohlenteeröls sind die sogenannten sauren Öle oder Kreosote. Der übrigens nur ganz schwache Säurecharakter dieser Verbindungen ist für den Dieselmotor belanglos. Viel wichtiger dagegen ist, daß diese Verbindungen Sauerstoff enthalten und den größeren Sauerstoffgehalt der Braunkohlenteeröle bedingen. Trotz des scheinbaren Widerspruches verbrennen sauerstoffhaltige Verbindungen viel schwerer, als reine Kohlenwasserstoff-Verbindungen, da ihr Sauerstoff nicht aktiv auftritt, sondern einen Teil des Wasserstoffes chemisch bindet und für die Verbrennung wertlos macht. Die sauerstoffhaltigen Verbindungen neigen im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen zu verwickelten Zersetzungserscheinungen, brenzlichen Verbrennungen. Braunkohlenteeröle mit hohem Gehalt an sauren Ölen, die sogenannten Kreosotöle, lassen sich daher im Dieselmotor nicht verbrennen. Über den zulässigen Gehalt an Kreosot sind die Meinungen noch geteilt. Es genügt aber, festzustellen, daß der normale Kreosotolgehalt von 8 bis 10 vH kaum zu Anständen führt.

Ähnliche saure Bestandteile enthält auch das Steinkohlenteeröl, aber nur in untergeordneter Menge; sie haben für die Verbrennung keine Bedeutung, weil die ausgesprochenen sauren Teeröle für chemische Zwecke gebraucht und deshalb bei der Teerdestillation für sich schon früher ausgeschieden werden. Sie liegen bei der Destillation in dem Temperaturbereich zwischen Leichtöl und Mittelöl (Karbolöl). Wichtiger ist der Gehalt an Naphthalin und an Anthrazen. Das Naphthalin (Schmelzpunkt 80°, Siedepunkt 218°) findet sich vornehmlich im Mittelöl, das Anthrazen (Siedepunkt 350°) vornehmlich im Schweröl und Anthrazenöl. Beide Bestandteile machen sich dadurch bemerkbar, daß sie manchmal auskristallisieren, ganz besonders das Anthrazen. In der Hauptsache rührt dies von stark verminderter Löslichkeit bei Temperaturerniedrigung her, so daß schon der Unterschied zwischen Sommer und Winter sich in Abscheidungen äußert. Man stellt deshalb an die Steinkohlenteeröle die Bedingung, daß sie bei Temperaturen, die zwischen 5 bis 10° liegen, keine Abscheidungen zeigen sollen. Mäßiges Abscheiden von Anthrazen bei niedrigen Temperaturen ist schon deshalb kein Ablehnungsgrund, weil man einfach durch Vorwärmen das Anthrazen wieder in Lösung bringen kann. Beim Naphthalin liegen die Lösungsverhältnisse ohnehin günstiger. Zu große Sättigung mit Anthrazen, die man durch starke Vorwärmung erreichen könnte, ist indessen zu vermeiden; denn das Anthrazen verbrennt als wasserstoffarme und noch dazu hochsiedende Verbindung nur dann vollständig, wenn es in einem reichlichen Überschuß von Steinkohlenteeröl gelöst ist. Für sich allein könnte man Anthrazen ebensowenig wie seine zahlreichen Abkömmlinge im Dieselmotor verbrennen; selbst das reine Naphthalin macht in dieser Beziehung Schwierigkeiten, weil zwischen seiner hohen Dampfspannung und dem niedrigen Siedepunkt einerseits und seiner ungünstigen chemischen Zusammensetzung anderseits ein Widerspruch besteht.

Eigenschaften der Heizöle.

Wesentlich einfacher liegen die Verhältnisse bei den Heizölen, welche wie Kohlen unmittelbar verfeuert werden. Der Verbrennungsvorgang ist auch hier ein rein gasförmiger, allerdings mit gewissen Unvollkommenheiten. Anderseits sind aber die Bedingungen für die Verbrennung von Öl in der Feuerung in manchen Punkten günstiger als im Dieselmotor, insbesondre weil der Feuerraum mit seiner hohen Temperatur einen vorzüglichen Wärmespeicher darstellt, und die Verbrennung zeitlich nicht so schnell wie im Dieselmotor stattfindet. Aus wirtschaftlichen Gründen verwendet man als Heizöle alle diejenigen Produkte, welche für den Dieselmotor gar nicht oder nur beschränkt geeignet sind. Beim Erdöl sind dies die dickflüssigen Destillationsrückstände, die nach ihrer Herkunft verschieden benannt werden, z. B. Masut, Pacura. Der verschiedenen Herkunft entsprechen auch große Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung und den sonstigen Eigenschaften. Beim Steinkohlenteer scheidet der Destillationsrückstand, d. i. das Pech, für die Verwendung als Heizöl aus. Nur während der Kriegszeit hatte man Teerheizöl in geringem Maße mit Pech gestreckt. Als Teerheizöl kommt in der Hauptsache das hochsiedende Anthrazenöl in Frage, doch ist auch der Gebrauch von andern Destillaten, die sogar für den Dieselmotor Verwendung finden könnten, beim Steinkohlenteer viel häufiger als beim Erdöl. Endlich dient als Teerheizöl auch dünnflüssiger Rohteer, weniger häufig Dickteer.

Für die Seeschiffahrt sind vor allem die Heizöle aus Erdöl wichtig, die man sehr oft fälschlich als Rohöle bezeichnet. Sie sind äußerlich durch ihre Dickflüssigkeit gekennzeichnet und müssen deshalb immer vorgewärmt werden. Die Dickflüssigkeit nimmt mit steigender Temperatur bekanntlich stark ab, aber ohne erkennbare Regel. Im allgemeinen muß man soweit vorwärmen, daß die Viskosität höchstens 6—7° nach Engler beträgt, was bei Vorwärmung wenig über 100 °C in der Regel erreicht wird. Teerheizöle und auch dünnflüssiger Rohteer sind schon bei gewöhnlicher Temperatur oder schon bei gelinder Vorwärmung gut flüssig.

Mit der Dickflüssigkeit steht der Stockpunkt des Heizöls in gewissem Zusammenhange, d. h. diejenige Temperatur, bei welcher das Heizöl nicht mehr fließt. Der Stockpunkt ist gerade für die Verwendung an Bord wichtig, wo die Rohrleitungen und Pumpen oft der Winterkälte ausgesetzt sind. Im allgemeinen sollen die Heizöle bei — 10 °C noch fließen. Bei den Teerheizölen können in der Winterkälte auch Abscheidungen von Anthrazen auftreten.

Das spezifische Gewicht des Heizöls ist immer wesentlich höher als das des entsprechenden Dieselmotoren-Treiböls. Bei Teerheizölen ist das spezifische Gewicht ein Maßstab für die Schwere des Öles, während bei Petroleumheizölen das spezifische Gewicht von der Herkunft abhängt und deshalb schwankt; vergl. Zahlentafel 5.

Zum Unterschiede von den Dieselmotorölen hat beim Heizöl der Heizwert eine unmittelbare Bedeutung für den Vergleich mit dem Heizwert der Steinkohle. Der Heizwert beträgt bei Steinkohlenteer und Teerheizöl 8600 bis 9000 kcal/kg, bei Petroleumheizölen 9300 bis 9700 kcal/kg, beide unter der Voraussetzung, daß der Wassergehalt nicht zu groß ist. Zum Unterschied von den Dieselmotoren-Treibölen kann der Wassergehalt der Heizöle unbedenklich ein wenig über 1 vH hinausgehen. Ebenso kann man bei Heizöl auch mit einem meßbaren Aschegehalt rechnen, besonders bei Petroleumheizölen, wo sich der Aschegehalt des rohen Erdöles bei der Destillation in den Rückständen anreichert.

Die chemische Zusammensetzung der Heizöle kennzeichnet sich ganz allgemein dadurch, daß der Kohlenstoff-

Zahlentafel 3. Physikalische und chemische Untersuchungskonstanten von Heizölen.

Art des Heizöles	Spez. Gewicht bei 15°	Viskosität in Englergraden	Heizwert kcal/kg	Wasser vH	Chemische Zusammensetzung: Kohlenstoff C vH	Wasserstoff H vH	Sauerstoff O vH	Schwefel S vH
Heizteer (Dünnteer)	1,12	7,0 bei 20°	8850	1,5	89,0	5,9	3,2	0,4
Heiz-Teeröl	1,08	2,8 bei 20°	8960	0,5	89,5	6,5	3,0	0,5
Masut	0,91	5 bei 80°	9850	1,0	85,7	12,1	0,9	0,3
Mexiko-Heizöl	0,96	11 bei 80°	9600	0,7	82,7	10,8	2,2	3,6

gehalt immer größer und der Wasserstoffgehalt immer kleiner als derjenige des entsprechenden Dieselmotoröls ist. Dazu kommt ein ebenfalls größerer Sauerstoffgehalt. Der Schwefelgehalt ist, besonders bei den Petroleumheizölen, unregelmäßig und teilweise sehr groß, bei dem mexikanischen z. B. über 3 vH. Dieser Schwefel hat einen viel schädlicheren Einfluß als bei den Kohlen. Da sich viel größere Mengen von Verbrennungswasser bilden, kann die entstehende schweflige Säure zusammen mit den Wasserdämpfen an kälteren Stellen, insbesondere in den Schornsteinen, kondensieren und Schwefelsäure entstehen, womit beträchtliche Zerstörungen an gemauerten oder Blechschornsteinen verbunden sind. Das beste Mittel hiergegen sind hohe Abgangstemperaturen, die aber wirtschaftliche Bedenken haben.

Der Flammpunkt hat für die Heizöle lange nicht die Bedeutung, die ihm beigemessen wird. Das geht schon daraus hervor, daß die Vorwärmtemperatur der Heizöle sehr oft beträchtlich über dem Flammpunkt liegt. Die praktische Entflammtemperatur der Heizöle fällt viel eher mit dem Brennpunkt zusammen. In der Ölfeuerung kommt die Entflammung dadurch zustande, daß das eingespritzte Öl durch die strahlende Hitze des Feuerraums verdampft und teilweise zersetzt wird; die dabei entstehenden Gase und Dämpfe entzünden sich dann ohne weiteres. Sinkt die Strahlungstemperatur des Feuerraums unter eine gewisse Grenze, so kann das gefürchtete Abreißen der Flamme eintreten. Aus dem zugeführten Öl entwickeln sich dann vorzugsweise leichte Gase und Dämpfe, welche die Gefahr von Explosionen im Anschluß an das Abreißen der Flamme mit sich bringen.

Der Vorgang der Verbrennung.

Den Verbrennungsvorgang und seinen rein gasförmigen Verlauf kann man zusammenfassend für Treiböle und für Heizöle betrachten. Der gasförmige Verlauf der Verbrennung tritt bei flüssigen Brennstoffen viel deutlicher als bei den Kohlen in die Erscheinung, wo er sich in zwei getrennte Vorgänge, Entgasung und Vergasung, gliedert. Die Verbrennung ergibt immer Kohlensäure und Wasserdampf und bedeutet die vollständige Zerstörung der chemischen Struktur aller Kohlenstoffverbindungen, die der Brennstoff enthält. Trotzdem oder gerade deshalb muß man sich von der Vorstellung freimachen, daß diese Zerstörung glatt und vollständig verläuft.

Jede Verbrennung beginnt mit der Erwärmung des Brennstoffes, die die Voraussetzung für die gasförmige Verbrennung ist, wie gerade die flüssigen Brennstoffe am deutlichsten zeigen. Beim Erwärmen eines Brennstoffteilchens ist aber die erste Wirkung immer eine fraktionäre Destillation; das macht auch die Verbrennung zu einer fraktionierten; die leichter siedenden Teile, welche wegen ihrer chemischen Zusammensetzung auch den größeren Heizwert und die größere Sauerstoff-Affinität haben, verbrennen schneller und vollkommener als die schwereren, höhersiedenden. Bei jedem Verbrennungsvorgang, sei es im Dieselmotor oder in der Ölfeuerung, müssen daher hochsiedende, kohlenstoffreiche Anteile förmlich nachhinken. Aber auch in den hochsiedenden Teilen verbrennt der Wasserstoff immer noch schneller als der Kohlenstoff, und die Folge ist, daß schließlich Kohlenstoff allein zurückbleibt, der überhaupt nicht mehr verbrennt und koksartige Rückstände bildet, die weniger im Dieselmotor, erheblich und deutlich wahrnehmbar aber in allen Ölfeuerungen auftreten. Bei der Ölfeuerung kommt noch hinzu, daß Ölteilchen, die aus der Flammenzone herausgeschleudert werden, überhaupt förmlich verkoken.

Soweit die Ölfeuerung in Betracht kommt, überwiegt gegenwärtig die Versorgung mit Heizöl in den überseeischen Häfen der Petroleumländer. Für Dieselmotorschiffe kommt dagegen sowohl die Versorgung mit ausländischem Petroleumgasöl, als auch mit deutschem Steinkohlenteeröl in Betracht. Für die nahe Zukunft ist mit einer beträchtlichen Ausdehnung des Dieselmotorantriebes an Bord zu rechnen, und es sei deshalb daran erinnert, daß die Vervollkommnung des Dieselmotors, die wir den deutschen Maschinenbauanstalten verdanken, sehr wesentlich durch das Bestreben beeinflußt worden ist, das einheimische Treiböl, d. h. das Steinkohlenteeröl, zu verwenden. Diese Bestrebungen im Motorenbau haben durch die Versuche, die Steinkohle zu verwerten und den Steinkohlenteer, der bisher das Ergebnis eines verhältnismäßig rohen Verfahrens ist, zu verbessern, eine glückliche Ergänzung gefunden. Sie lassen sich in den Begriffen Tieftemperaturverkokung und Urteergewinnung zusammenfassen, die wieder vornehmlich deutsche Geistesarbeit sind. Die Verfolgung dieses Problems hat schon sehr schöne Erfolge gezeitigt und verspricht weiterhin eine gute Entwicklung. Man kann deshalb annehmen, daß Deutschland in naher Zukunft mit flüssigen Brennstoffen in jeder Hinsicht aus dem Inlande versorgt sein wird. [A 206]

Italiens Kohlen- und Elektrizitätsversorgung nach italienischer Darstellung.

Italien ist bei seiner sehr geringen Eigenerzeugung von Kohlen für den überwiegend größten Teil seines Bedarfs auf fremde Zufuhr angewiesen. Sein Streben ist daher begreiflich, sich mehr und mehr davon unabhängig zu machen und, mehr noch als dies in manchem andern Lande geschieht, seine Wasserkraft zur Erzeugung von Elektrizität auszunutzen. Über den Stand seiner Versorgung auf beiden Gebieten in der Vorkriegszeit bis in die Gegenwart unterrichtet eingehend das im Januar d. J. in neuester Auflage erschienene Buch „Prospettive Economiche" (Wirtschaftliche Ausblicke) des bekannten italienischen Volkswirtschaftlers Prof. Giorgio Mortara, dem die nachstehenden Ausführungen entnommen sind.

Kohlenversorgung.

Die in den letzten fünf Friedensjahren durchschnittlich 608 000 t/Jahr betragende Kohlengewinnung Italiens wurde durch die vermehrten Bedürfnisse der Kriegszeit und die verminderte ausländische Zufuhr ständig gesteigert bis auf 2 171 000 t im Jahre 1918. Mit Kriegsende nahm sie wieder ab und stellte sich im Jahre 1922 auf 946 000 t, wovon der größte Teil (745 000 t) in Braunkohlen besteht. Das wichtigste Steinkohlengebiet ist Istrien mit einer Erzeugung von 160 000 t i. J. 1922 (von 169 000 t insgesamt), doch vermag diese Kohle wegen ihrer minderwertigen Zusammensetzung und der hohen Gewinnungskosten nur schwer mit der britischen Kohle in Wettbewerb zu treten. Unter Zurückführung von Koks und Braunkohle auf den Heizwert der Steinkohle stellte sich der Kohlenverbrauch Italiens auf nur 9,5 Mill. t im Jahre 1922 und 10 Mill. t im Jahre 1923[1]) gegenüber 12 Mill. t im Jahre 1913, ist also um $^1/_6$ geringer geworden. Wie sich die Einfuhr seit 1913 verändert hat, insbesondere auch hinsichtlich der Herkunftländer, zeigen die nachstehenden Zahlen.

Kohleneinfuhr nach Italien in Mill. t.

Ausfuhrland	Großbritannien	V. St. v. A.	Deutschland	andere Länder	insgesamt
1913	10,000	0,300	1,100	0,400	11,800
1921	3,554	1,608	2,442	0,337	7,941
1922	5,774	0,128	2,735	0,499	9,136
1923 (1. Halbjahr)	3,398	0,162	0,979	0,231	4,770

[1]) Vorläufige Zahlen.

Die zukünftige Kohlenversorgung sieht der Verfasser als genügend an, sie wird sich den Zahlen von 1913 nähern, wenn Deutschland wieder die festgesetzten Mengen liefert; die einheimische Kohlengewinnung ist im Rückgang begriffen.

Elektrizitätsversorgung[2]).

Die gesamte von den zu Anfang 1923 bestehenden Wasserkraftwerken erzeugte Leistung kann zu rd. 1,5 Mill. kW angenommen werden, die der noch im Bau befindlichen Werke wird annähernd 0,5 Mill. kW betragen; hinzu kommt die von Wärmekraftanlagen erzeugte Leistung mit 0,4 Mill. kW. 70 vH der Energiemengen entfallen auf Nord-, 20 vH auf Mittel- und 10 vH auf Süditalien und die Inseln.

Im Rechnungsjahr 1922/23 wurden über 5 Milliarden kWh verbraucht. Wenn die begonnenen oder geplanten Anlagen durchgeführt sind, kann Italien jährlich über 8 bis 10 Milliarden kWh verfügen, was dem Verbrauch von 10 bis 12 Mill. t Kohlen gleichkommt.

Wenn man die Entwicklung der Elektrizitätserzeugung in den letzten 10 Jahren verfolgt, so ergibt sich ein ungeheurer Aufschwung während der Kriegszeit, sei es durch Neuanlage von Kraftwerken, sei es durch Erweiterung der bestehenden oder durch stärkere Ausbeutung der Anlagen. Fast ausschließlich wurde die elektrische Energie durch Wasserkraft erzeugt, dies gilt in besonderm Maße für die beiden letzten Kriegsjahre. Nach Überwindung der Nachkriegschwierigkeiten setzte wieder ein kräftiger Aufschwung ein, so daß der Verbrauch im abgelaufenen Rechnungsjahre mehr als doppelt so hoch war als 1913/14.

Im Jahre 1923/24 wird der Verbrauch wahrscheinlich 5,5 Milliarden kWh erreichen, wenn nicht übersteigen. Über die Verwendung im einzelnen fehlen Zahlenangaben, man nimmt an, daß 10 vH des Verbrauchs Beleuchtungszwecken und fast ebensoviel dem Bahnbedarf, der Rest industriellen Zwecken dient. Nach der amtlichen Statistik entfallen 76 vH des Verbrauchs auf die nördlichen, 16 vH auf die mittleren und 8 vH auf die südlichen Provinzen und die Inseln.

Hinsichtlich der zukünftigen Versorgung sieht der Verfasser eine fortschreitende Steigerung der Krafterzeugung durch die allmähliche Fertigstellung der geplanten Wasserkraftanlagen voraus, sowie eine Zunahme des Verbrauchs infolge verstärkter Nachfrage und gesteigerter Leistungsfähigkeit der Werke. [M 257] Bü.

[2]) Vergl. a. Z. Bd. 67 (1923) S. 647.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Technische Mechanik.

Der Wärmeübergang an Kondensatorrohren.

Unsere Kenntnis vom Wärmeübergang in Rohren ist in Deutschland seit 15 Jahren vor allem durch Nusselt[1]), Prandtl[2]), v. Kármán[3]) und Latzko[4]) gefördert und auf eine neue Grundlage gestellt worden. Neue Beiträge zu dieser Kenntnis bringt die Redaktion der Zeitschrift „Engineering" in einer Aufsatzfolge[5]), deren Bedeutung nicht dadurch verringert worden wäre, wenn der Verfasser statt der einleitenden abfälligen Bemerkungen über Versuche an deutschen Universitäten die erwähnten bahnbrechenden deutschen Arbeiten neben den englischen und amerikanischen angeführt hätte. Davon abgesehen verdient die Arbeit von „Engineering" starke Beachtung wegen ihres Inhalts und der vorbildlich einfachen und klaren Art der Darstellung.

Zunächst wird auf einen grundsätzlichen Unterschied in der Art des Wärmeübergangs bei Speisewasservorwärmern und Kondensatoren aufmerksam gemacht. Nach Versuchen von Smith[6]) beginnt nämlich bei 80° Wasser die in ihm gelösten Gase, insbesondere Luft, in schnell steigendem Maße abzugeben. Bei 80° oder höherer Temperatur wird somit die dünne Schicht an der Rohrwand, in der das Wasser auch bei Turbulenz im übrigen Querschnitt wohl laminar strömt, durch die freiwerdende Luft zerrissen, der Wärmeübergang sprungweise verstärkt. Die Wärmeübertragung in den Vorwärmern mit ihren heißen Rohrwänden muß daher wesentlich besser sein als bei Kondensatoren mit ihren kalten Wänden. Hiermit wird auch eine sprungweise auftretende Änderung in Versuchsergebnissen von Webster erklärt, bei denen von einer gewissen Wandtemperatur ab der Wärmeübergang von der Strömungsgeschwindigkeit unabhängig, also wohl im wesentlichen durch die Konvektionsströme beim Freiwerden von Luft bedingt wird.

Von diesem besonderen Fall abgesehen ist der Wärmeübergang zwischen einer Wand, z. B. einer Rohrwand, und einem turbulent strömenden Stoff am besten aus einer Erklärung zu verstehen, die zuerst Reynolds[7]) und dann davon unabhängig Prandtl[8]) aufgestellt hat, die aber wohl noch nirgends so anschaulich und einfach wiedergegeben worden ist wie von „Engineering" durch die folgenden Sätze:

„In einer turbulenten Strömung befindet sich ein Wasserteilchen in einem Augenblick in der Rohrachse und hat die entsprechende Temperatur; ein wenig später kommt es nahe an die Rohrwand und nimmt die dort herrschende Temperatur an. Dann kehrt es in die Rohrachse zurück, und diese Bewegung wiederholt sich immer wieder. Dabei wird durch die bewegten Wasserteilchen Wärme von der Wand zur Rohrmitte befördert.

Anderseits hat das Teilchen in der Achse ein bestimmtes Bewegungsmoment. Beim Berühren der Wand kommt es zur Ruhe; dann verläßt es die Wand wieder, erhält von neuem ein Bewegungsmoment (auf Kosten des Druckabfalls längs des Rohres) und erreicht wieder die Rohrachse. Es wird also „Bewegungsmoment" von der Rohrmitte zur Wand mit genau dem gleichen Mechanismus befördert wie „Kälte", so daß der Unterschied zwischen dem Bewegungsmoment der Flüssigkeit im Rohr und nächst der Wand im gleichen Verhältnis ausgeglichen wird wie der Temperaturunterschied."

Auch die mathematische Darstellung dieser Vorgänge, bei der „Engineering" sich ebenfalls an Reynolds anschließt, ist bemerkenswert einfach:

Auf einem Stück Δx längs des Rohres verliere die mit der Geschwindigkeit v strömende Flüssigkeit, deren Dichte ϱ sei, von ihrem mittleren in der Zeiteinheit vorbeigeführten Moment m den Anteil Δm und erfahre eine Erhöhung ihrer Temperatur t um den Betrag Δt. Dann gilt nach obigen Darlegungen

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta t}{\vartheta - t} \quad \ldots \ldots \quad (1),$$

wobei ϑ die Wandtemperatur, genauer die Temperatur der äußersten Schicht des turbulenten Kerns der Strömung sei. Ist F der Reibungswiderstand der Wand für die Flächeneinheit, $2r$ die Rohrweite, so ist ferner

$$F \, 2 r \pi \Delta x = \Delta m \quad \ldots \ldots \quad (2).$$

Da außerdem

$$m = \varrho v^2 r^2 \pi \quad \ldots \ldots \quad (3),$$

so erhält man durch Einsetzen von (2) und (3) in (1)

$$\frac{F \, 2 r \pi \Delta x}{\varrho v^2 r^2 \pi} = \frac{\Delta t}{\vartheta - t} \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

oder, wenn man von den Differenzen Δ zu Differentialen übergeht,

$$\vartheta - t = \frac{r}{2} \frac{\varrho v^2}{F} \frac{dt}{dx} \quad \ldots \ldots \quad (5).$$

[1]) W. Nusselt, Forschungsarbeiten Heft 89, 1910; Gesundheits-Ing. 1915 Nr. 42 u. 43; Z. Bd. 60 (1916) S. 541.
[2]) L. Prandtl, Phys. Zeitschr. Bd. 11 (1910) S. 1072.
[3]) Th. v. Kármán, Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech. Bd. 1 (1921) S. 233.
[4]) H. Latzko, Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech. Bd. 1 (1921) S. 268.
[5]) The laws of heat transfer, „Engineering" Bd. 116 (1923) S. 1, 69, 131, 228.
[6]) J. A. Smith, „Engineering" Bd. 78 (1904) S. 486.
[7]) O. Reynolds, Proceedings Manchester Lit. and Phil. Soc. 1874 S. 9 und T. E. Stanton, Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) Bd. 190 (1897) S. 67.
[8]) a. a. O.

Die Flächeneinheit der Rohrwand gebe in der Zeiteinheit die Wärmemenge q ab, die spezifische Wärme des strömenden Stoffes sei c. Dann ist

$$q \, 2 r \pi \Delta x = c \varrho v r^2 \pi \frac{dt}{dx} \Delta x \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

oder

$$q = \frac{c \varrho v r}{2} \frac{dt}{dx} \quad \ldots \ldots \quad (7).$$

Aus (5) und (7) aber folgt

$$q = c (\vartheta - t) \frac{F}{v} \quad \ldots \ldots \quad (8).$$

Definiert man den Wärmeübergangswiderstand R durch die Gleichung

$$R = \frac{\vartheta - t}{q} \quad \ldots \ldots \quad (9),$$

so erhält man aus (8) und (9)

$$R = \frac{v}{c F} \quad \ldots \ldots \quad (10).$$

Nun ist aber der Reibungswiderstand

$$F = \varrho v^2 L \quad \ldots \ldots \quad (11),$$

worin L eine Funktion der Reynoldsschen Zahl $\frac{2 r v}{\nu}$ bedeutet, die C. H. Lees dargestellt hat durch die empirische Gleichung

$$L = 0{,}0763 \left(\frac{2 r v}{\nu}\right)^{-0{,}35} + 0{,}0009 \quad \ldots \ldots \quad (12)$$

(ν = kinematische Zähigkeit).

Aus (11) und (8) bzw. (5) folgt endlich

$$q = c (\vartheta - t) \varrho v L \quad \ldots \ldots \quad (13)$$

und

$$\vartheta - t = \frac{r}{2 L} \frac{dt}{dx} \quad \ldots \ldots \quad (14).$$

Die auf Messungen von Stanton und Pannell beruhende Gl. (12) ist vor kurzem von mir gemeinsam mit Dipl.-Ing. S. Erk versuchsmäßig geprüft und richtig befunden worden[9]).

Der nächste Punkt der Untersuchung von „Engineering" bezieht sich auf den Einfluß der Wärmeleitfähigkeit des strömenden Stoffes, der in den bisherigen Gleichungen überhaupt nicht vorkam. Diese beziehen sich nämlich einzig auf die Konvektion und stellen insofern doch nur eine ziemlich rohe Annäherung dar. Es gibt zwei Wege, den Einfluß der Wärmeleitfähigkeit zu berücksichtigen. Bei dem einen Weg, den zuerst Nusselt[10]) eingeschlagen zu haben scheint, werden nur die hydrodynamischen Strömungsgleichungen nach Stockes und die Differentialgleichungen der Wärmeübertragung nach Kirchhoff benutzt, die die Zähigkeit des strömenden Stoffes berücksichtigen, aber von jeder Hypothese über eine Grenzschicht an der Wand frei sind. Den zweiten Weg hat Prandtl[10]) mit seiner Grenzschichtentheorie gewiesen. Diesen Weg geht nun auch „Engineering", indem er wie von Prandtl vorgeschlagen, annimmt, daß die Wärme zunächst in einer dünnen laminarbewegten Flüssigkeitsschicht an der Wand durch Leitung allein übergeht und dann weiter an den turbulent strömenden Kern durch Konvektion. Blasius[11]) hat die Dicke der Grenzschicht bereits annähernd berechnet. „Engineering" findet durch eine ähnliche, aber wohl genauere Betrachtung eine obere Grenze für die Schichtdicke

$$f_1 = r \left(1 - \sqrt[4]{1 - 8 \frac{\overline{\nu}}{2 r v} \frac{1}{L}}\right) \quad \ldots \ldots \quad (15),$$

wobei $\overline{\nu}$ die mittlere kinematische Zähigkeit in der Grenzschicht bedeutet. Die wirkliche Schichtdicke erhält man dann genau genug durch die Gleichung

$$\frac{v_c}{v} = \frac{f}{f_1} \quad \ldots \ldots \quad (16),$$

in der v die mittlere Geschwindigkeit im Querschnitt bedeutet und v_c die Geschwindigkeit am äußeren Rand des turbulenten Kerns, also da, wo die laminare Grenzschicht beginnt. Es läßt sich dann durch sinngemäße Anwendung von Gl. (1) zeigen, daß an Stelle von Gl. (10) für den Wärmeübergangwiderstand R_r des turbulenten Kerns zu setzen ist

$$R_r = (1 - \Phi) \frac{v}{c F} \quad \ldots \ldots \quad (17)$$

und für den der Grenzschicht

$$R_r = \frac{\Phi f_1}{\lambda} \quad \ldots \ldots \quad (18),$$

wobei $\Phi = \frac{f}{f_1}$ und λ das Wärmeleitvermögen der Flüssigkeit bei der

[9]) Forschungsarbeiten Heft 267 im Druck.
[10]) a. a. O.
[11]) H. Blasius, Forschungsarbeiten (1913) Heft 131 S. 1.

mittleren Temperatur der Grenzschicht bedeutet. Der gesamte Wärmeübergangswiderstand zwischen Rohr und Flüssigkeit ist dann

$$R = R_r + R_f \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (19).$$

R_r und R_f hängen von L und damit von der Zähigkeit ab, die sich wiederum mit der Temperatur, also über den Querschnitt verändert. In „Engineering“ wird aber gezeigt, daß man ohne großen Fehler den zur mittleren Temperatur gehörigen Wert von ν in Gl. (12) einsetzen kann.

Wasserversuche, aus denen man nun nach Gl. (15) bis (19) mit Benutzung von Gl. (12) den Wert Φ berechnen kann, sind selten. Es muß bei solchen Versuchen außer der übertragenen Wärme auch die Wandtemperatur gemessen werden und unter 80° (der Grenze für das Ausscheiden der gelösten Gase) liegen. „Engineering“ fand für die Berechnung nur Messungen von Webster[1]) und von J. A. Smith[2]) geeignet, die sich über ein Bereich von $\frac{2\,r\,v}{\nu} = 3800$ bis $51\,000$ erstrecken.

Aus 23 Versuchen von Webster an Rohren von 1,27 cm l. W. bei Wandtemperaturen von 57 bis 81°, mittleren Wassertemperaturen von 12 bis 19° ergab sich merkwürdigerweise $\Phi = 0{,}55$ fast völlig unabhängig von der Wassergeschwindigkeit, die von 1,3 bis 4,9 m/s verändert wurde. Bei diesen Versuchen lag R_f zwischen 1,9 und 4,8, R_r zwischen 0,35 und 1,1 $cm^2 s\, cal^{-1}\, Grad^{-1}$. Der Wärmedurchgangswiderstand der Grenzschicht ist demnach viel größer als der des turbulenten Kerns der Strömung, obwohl $f < 0{,}01\,r$ war.

Mit $\Phi = 0{,}55$ ist nun unter Annahme eines Wärmeübergangswiderstandes 2,5 zwischen kondensierendem Dampf und Rohrwand (nach Callendar) aus Gl. (19) der Wärmeübergang bei den Versuchen von Smith berechnet worden, bei denen ein Rohr von 1,46 cm l. W. verwendet wurde, die Wandtemperatur etwa 41° betrug, die mittlere Temperatur des Wassers etwa 25°, die Geschwindigkeit 0,2 bis 0,7 m/s. Hierbei lag nun R_f ($f = 0{,}02\,r$ bis $0{,}05\,r$) zwischen 12 und 29, R_r zwischen 1,7 und 3,9. Der berechnete Gesamtwiderstand stimmt mit dem gemessenen auf 2 bis 7 vH überein.

Nach dieser Kontrollberechnung glaubt „Engineering“, daß man den Wärmeübergang zwischen Kondensatorrohren und dem sie durchströmenden Kühlwasser allgemein unter Annahme von $\Phi = 0{,}55$ berechnen kann nach Gl. (19), die hiermit übergeht in die Form

$$R = \frac{0{,}45}{c\,\varrho\,v\,L} + \frac{0{,}55\,r}{\lambda}\left(1 - \sqrt[4]{1 - 8\,\frac{\bar{\nu}}{2\,r\,v}\,\frac{1}{L}}\right) \quad \ldots \ldots (20),$$

worin L nach Gl. (12) einzusetzen ist.

Die Anwendung dieser Formel zeigt folgendes, ebenfalls „Engineering“ entnommenes Beispiel:

In einem Kondensator mit Rohren von $^3/_4{}'' = 1{,}905$ cm äußerem Durchmesser und $2\,r = 1{,}661$ cm innerem Durchmesser möge $q = 0{,}6912$ $cal\, cm^{-2}\, s^{-1}$ (bezogen auf die Innenflächen der Rohre) vom Kühlwasser aufgenommen werden. Die Temperatur des Kühlwassers in den Rohren sei $t_w = 15{,}56^0$, seine mittlere Geschwindigkeit 60,96 $cm\, s^{-1}$. Es sei ferner $\varrho = 1$ und $c = 1$. Wie groß ist der „konvektive“ Widerstand R_r, der „Grenzschichtenwiderstand“ R_f und die innere Wandtemperatur t_t?

Bei $15{,}56^0$ ist $\nu = 0{,}011\,26$ $cm^2\, s^{-1}$, somit nach Gl. (12) $L = 0{,}0040\,52$, nach Gl. (11) $\frac{v}{F} = 4{,}049$ und mit $\Phi = 0{,}55$ nach Gl. (17) $R_r = 1{,}822$ $cm^2\, s\, cal^{-1}\, Grad^{-1}$. Bezeichnet man die äußere Temperatur des turbulenten Wasserkerns mit t_c, so ist $t_c - t_w = q\,R_r = 0{,}6912 \cdot 1{,}822 = 1{,}26^0$ und somit $t_c = 15{,}56 + 1{,}26 = 16{,}82^0$. Wir nehmen nun zunächst versuchsweise an: $t_t = 28{,}30^0$. Dann ist $t_m = \frac{t_c + t_t}{2} = 22{,}56^0$ und nach den Regeln der angenäherten Integration $\bar{\nu} = \frac{1}{6}\,\nu_c + \frac{2}{3}\,\nu_m + \frac{1}{6}\,\nu_t = 0{,}00949$, wobei ν_c, ν_m und ν_t die kinematische Zähigkeit bei den Temperaturen t_c, t_m und t_t bedeuten. Mit $\lambda = 0{,}0014$ $cal\, cm^{-1}\, s^{-1}\, Grad^{-1}$ für Wasser erhält man nach Gl. (18) und (15) zunächst $R_f = \frac{0{,}55 \cdot \frac{1{,}661}{2}}{0{,}0014} \cdot 0{,}04988 = 16{,}273$ oder mit Rücksicht auf die Krümmung der Grenzschicht genauer $R_f = 16{,}273\left(1 + \frac{0{,}049\,88}{2}\right) = 16{,}68$. Es ist somit $R = R_f + R_r = 16{,}68 + 1{,}82 = 18{,}50$. Da nun $t_t - t_w = q\,R$ sein muß, so erhält man $t_t - t_w = 12{,}97$ und $t_t = 15{,}56 + 12{,}97 = 28{,}35^0$ in genauer Übereinstimmung mit der vorläufigen Annahme. Andernfalls müßte mit dem so gewonnenen Wert von t_t die Rechnung zur Gewinnung größerer Annäherung nochmals durchgeführt werden.

„Engineering“ hat hiernach eine Zahlentafel berechnet, aus der für normale Kondensatorrohre und verschiedene Werte q, t_w und v die Werte R_f, R_c, R und t_t entnommen werden können. Endlich sind nach diesem Verfahren J. M. Newtons[3]) Meßergebnisse an einem aus 682 Rohren von insgesamt 74 m² Heizfläche bestehenden Kondensator nachgerechnet worden. An diesem Kondensator sind zwei Meßreihen ausgeführt worden, bei deren einer wegen eines Fehlers am Kondensator das Vakuum schlecht war. Aus dem Vergleich der nach dem oben beschriebenen Verfahren berechneten Temperatur des Wassers an den Rohrwänden mit der dem gemessenen Gesamtdruck entsprechenden Sättigungstemperatur ergab sich, daß im ersten Fall der Partialdruck des Wasserdampfes 16 mm Q.-S. betrug, der der Luft 36 mm, daß also mit den Kondensatorrohren viel mehr Luft als Wasserdampf in Berührung war. Nach Beseitigung des Fehlers betrug dagegen der Partialdruck des Wasserdampfes 28 mm, der der Luft nur etwas über 1 mm.

Das Verfahren von „Engineering“ ermöglicht hiernach eine Analyse des Verhaltens vorhandener und eine genauere Berechnung neu zu erbauender Kondensatoren. Ob sich freilich die Formel (20) und insbesondere der Wert $\Phi = 0{,}55$ ganz allgemein für die Berechnung des Wärmeübergangs an Kondensatoren und für andre Stoffe als Wasser bewähren wird, steht dahin und wird sich erst bei Behandlung weiterer Beispiele zeigen. Bei neueren Forschungen sind Prandtl, v. Kármán und Latzko von der Annahme einer laminaren Grenzschicht, deren Einführung, wie erwähnt, Prandtl zu verdanken ist, zum Teil schon wieder abgekommen und rechnen mit einer turbulenten Grenzschicht. Sie nähern sich damit zwar nicht in der praktischen Ausführung der Rechnungen, wohl aber in der Auffassung dem Verfahren von Nusselt, der eine von der Wand bis zur Mitte turbulente Strömung seinen Untersuchungen zugrundegelegt hat. [M 190]

Max Jakob.

[1]) Webster, Transact. of the Inst. of Engineers and Shipbuilders in Scotland 1913.
[2]) J. A. Smith, „Engineering“ Bd. 116 vom 23. März 1923.
[3]) J. M. Newton, Journal of the Junior Institution of Engineers 1912

Eisenbahnwesen.

Schienenstützen aus Eisenbeton in Britisch-Indien.

Seit einiger Zeit benutzt die Indische Eisenbahnverwaltung, bei der glocken- oder plattenartige Schienenstützen ja schon seit langer Zeit eingeführt sind, solche aus Eisenbeton, nach ihrem Erbauer Stent-Schwellen genannt, die sich in verschiedenen Punkten von den sonst üblichen Querschwellen unterscheiden. Die neue Schienenbefestigung ist dreiteilig, und zwar sind zwei Betonblöcke, die eigentlichen Schienenstützen, durch eine mit Keilen befestigte Flacheisenstange verbunden, Abb. 1. Die Schiene wird je nach ihrer Bauart und der Bauart des Schienenstuhles oder der Schienenplatte auf der Betonstütze mittels Schrauben, Hakennägeln oder Rundnägeln befestigt, die in Dübel aus verdichtetem Holz eingetrieben werden. Von diesen sind gewöhnlich vier von ausreichendem Querschnitt in dem Betonklotz vorhanden, damit mit der gleichen Stütze verschiedene Schienengrößen und -arten befestigt werden können. Hierdurch wird ermöglicht, daß nur eine bestimmte Größe des zur Stent-Schwelle gehörenden Betonklotzes in Massenherstellung angefertigt zu werden braucht.

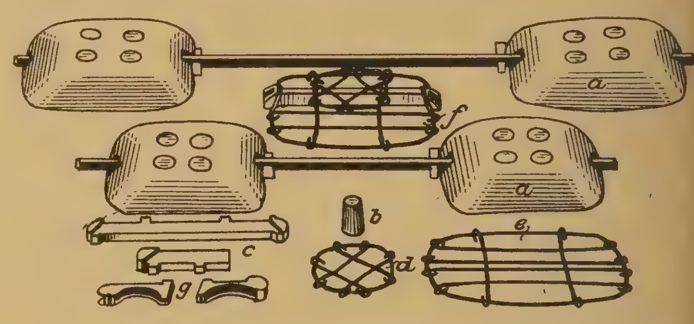


Abb. 1. Ausführungen der Stent-Schienenstütze für verschiedene Spurweiten. *a* Eisenbetonstütze; *b* Holzdübel; *c* lange und kurze Führung für die Verbindungsstange; *d* obere, *e* untere Gittereinlage; *f* mit Führung zusammengebaute Einlagen; *g* kürzere, doppelt einzubauende Führungen für die Verbindungsstange.

Als Eiseneinlage der Betonklötze dienen zwei geschlossene Rahmen, die aus Rundeisen von 6,5 bis 9,7 mm Dmr. bestehen. Der untere nimmt die Zugkräfte auf. Beide Rahmen haben feste Versteifungen; sie sind als Gitter ausgebildet, die nur durch roheste Behandlung auseinandergerissen werden können. Die Verbindungsstange der beiden Schienenstützen wird durch ein im Betonklotz eingebettetes Führungsstück aus Gußeisen und durch Keile festgehalten, so daß Eisen auf Eisen liegt und eine ungünstige Scherbeanspruchung des Betons nicht auftreten kann. Dieses Führungsstück ist mit der Gittereinlage fest verbunden und dient zur Abstützung der beiden Gitter gegeneinander. Die Gitter werden auf besonderen Formplatten mit besonderen Werkzeugen mit der Hand hergestellt, nachdem die Einlageeisen auf selbsttätigen Maschinen auf Länge geschnitten worden sind. Die Herstellung von Hand hat sich in Indien als wirtschaftlicher erwiesen als mit Maschinen.

Eine Fabrik in Delhi, die der in London und Kalkutta ansässigen Firma Bird & Co. gehört, stellt seit einiger Zeit nur Stent-Betonschwellen her. Gegenwärtig beträgt ihre Jahreserzeugung 200 000 Stück, man hofft aber in Kürze auf 400 000 bis 500 000 zu kommen, da die Nachfrage sehr stark ist. Die Versuche der Eisenbahnverwaltung haben ergeben, daß zum Herausreißen des Dübels aus der Stent-Stütze rd. 2800 kg Zug erforderlich waren, etwa das Doppelte als bei Hartholzschwellen. Bei einer Überbelastung, durch die eine gußeiserne Schwelle oder Stütze für 20 t Achsdruck entzweibrach, traten in der Betonstütze nur zwei Risse auf, während die eigentliche Schienenbefestigung unbeschädigt blieb.

Auf der indischen Nordwestbahn sind inzwischen etwa 160 km Gleis auf Stent-Schwellen verlegt. Hier wurden auch Entgleisungen von Wagen absichtlich herbeigeführt, ohne daß die Stützen beschädigt

worden sind. Andre Eisenbahnen Indiens haben die Schienenbefestigung ebenfalls versuchsweise eingeführt. Im Laufe der Jahre wird sich indessen wohl erst erweisen müssen, ob die Stützschwelle mit dem unten ebenen Betonklotz eine dauernd sichere Gleislage gewährleistet; denn die bisher in Indien benutzten Stützen bestanden meist aus glocken- oder kastenartigen Böcken, die auch innen mit Steinschlag unterstopft waren. („Concrete and Constructional Engineering" Bd. 18 [1923] S. 667) [R 78] Sd.

Feinmechanik.

Meßgerät für mechanische Spannungen.

Die physikalischen und optischen Gesellschaften Englands halten jährlich eine Ausstellung ab, bei der oft auch Meßgeräte gezeigt werden, die für den Ingenieur von Wert sind. Die Cambridge & Paul Scientific Instrument Co., Cambridge, hatte das letzte Mal unter andern Geräten ein Meßgerät für Längenänderungen und Spannungen, Abb. 2, ausgestellt, das die gemessenen mechanischen Spannungen fortlaufend auf einen Zelluloidstreifen aufzeichnet. Zelluloid wird an Stelle von Papier aus dem Grunde benutzt, weil sich mit einem geeigneten Schreibstift hierauf leicht Striche wiedergeben lassen, die man auf photographischem Wege übertragen und vergrößern kann. Eine Vergrößerung ist deshalb erforderlich, weil der englische Apparat im Gegensatz zu dem Spannungsmesser von Geiger (Z. Bd. 68 [1924] S. 265) nur eine verhältnismäßig geringe Vergrößerung zuläßt.

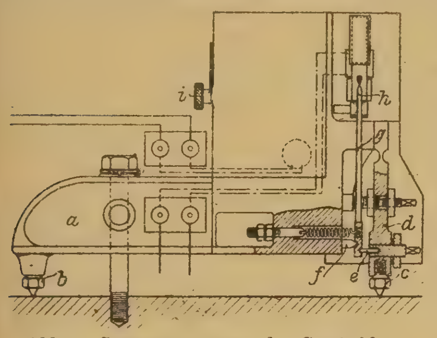


Abb. 2. Spannungsmesser der Cambridge & Paul Scientific Instrument Co.

Die Einrichtung des Meßgerätes ist aus Abb. 2 zu erkennen. An dem Rahmen a sind bei b zwei und am federnden Hebel d bei c eine Spitze angebracht. Die Verschiebung der Spitzen b und c gegeneinander beim Versuch wird durch die Schneiden e und f auf den Hebel g übertragen, der die Ausschläge mit einer geeigneten Schreibspitze h auf einen von einem Uhrwerk bewegten Zelluloidstreifen aufzeichnet. Die Streifengeschwindigkeit kann bei i geregelt werden. In Abb. 2 wird das Gerät durch einen Bolzen gehalten. Man kann den Rahmen aber auch auf andre Weise am Versuchstück befestigen.

Das Wesentliche bei dem englischen Gerät ist hiernach die Auftragung des Versuchsergebnisses auf einen Zelluloidstreifen, wobei eine Genauigkeit bis auf $^1/_{100}$ mm erreicht werden soll, was man aber bezweifeln muß. Die Diagramme sind sehr klein und werden gewöhnlich mit einem Meßmikroskop betrachtet. („The Engineer" Bd. 137 [1924] S. 12) [R 237] Dr. W. S.

Brennstoffe.

Herstellung und Verwertung von Kohlenstaub[1]).

Die Verwendung von staubförmigen Brennstoffen für den Betrieb von Feuerungen hat namentlich in solchen Ländern Fortschritte gemacht, die infolge der Kohlennot gezwungen waren, minderwertige und kleine Kohlen auszunutzen, oder die von vornherein nur über sehr weiche, brüchige Kohlensorten verfügen, die sich im rohen Zustand fast gar nicht für den Transport zur Verbrauchstelle eignen. In Gegenden dieser Art schreitet der Abbau der guten Kohlenflöze so schnell fort, daß sich schon daraus die zunehmende Bedeutung der Kohlenstaubfeuerung erklärt.

Kohlenmühlen.

Für die Zerkleinerung der Kohle kommt vornehmlich die Rohrmühle in Betracht; sie wird vielfach in Verbindung mit einer Kugelmühle verwandt, wobei die letztere als Vorstufe dient, der die Kohle in der Achsmitte zugeführt wird. Eine Rohrmühle der üblichen Bauart besteht aus einer genieteten Blechtrommel, die auf hohlen Zapfen mit gleichförmiger Drehzahl umläuft. Das Innere der Trommel ist mit Gußeisenplatten belegt, und als Zerkleinerungsmittel dienen Hartguß-Eisenkugeln, Kieselsteine und dergl. Die Kohle tritt durch einen der Zapfen ein und verläßt die Trommel in staubförmigem Zustand durch den andern Zapfen. Eine Mühle von 1 t/h Leistungsfähigkeit hat etwa 1,5 m Dmr. und 6,6 m Länge und enthält 6 t Kugeln oder Steine, wenn sie mit 28 Uml./min betrieben wird. Man erkennt hieraus, daß die Ausbeute aus solchen Rohrmühlen im Verhältnis zu ihrem Gesamtgewicht und dementsprechend auch zu ihrem Kraftbedarf und dem erforderten Raum gering ist; nichtsdestoweniger hat sich die Rohrmühle vielfach eingeführt, vermutlich, weil sie im allgemeinen sehr betriebsicher ist. Ihr Wirkungsgrad ist aber gering, obgleich man schon vielfach versucht hat, ihn zu verbessern.

Vor etwa 30 Jahren hat man die Griffin-Mühle eingeführt; sie besteht im wesentlichen aus einem Walzenkopf mit langem Pendelarm, an dessen unterem Ende eine mit einer ringförmigen Laufbahn zusammenarbeitende Rolle gelagert ist. Wird das Ganze gedreht, so wälzt sich die Rolle auf ihrer Bahn ab, wobei sie sich mittels des Pendelarmes beliebig abheben kann, und die Kohle wird durch den Druck zerkleinert, den die Rolle infolge der Fliehkraft auf ihre Bahn ausübt. Eine Griffin-Mühle von 750 mm Dmr. soll einen Druck von 2700 kg, eine Grant-Mühle von 1 m Dmr. einen Druck von 6800 kg ausüben können.

Von den Griffin-Mühlen unterscheiden sich die Bradley-Mühlen im wesentlichen dadurch, daß sie mit 3 Rollen arbeiten, die mittels eines Jochs von einer gemeinsamen Welle aus angetrieben werden. Die zerkleinerte Kohle läuft durch Siebe an der Außenseite des Druckringes ab. Auch die Mühlen nach den Bauarten Simon-Carves und Raymond sind Pendelmühlen der vorbeschriebenen Art mit 3 bzw. 4 oder 5 Rollen. Zum Unterschied gegenüber den anderen sind sie vollständig geschlossen, und das Mahlgut wird aus ihnen mittels eines Ventilators abgesaugt. Gewöhnlich formt man den oberen Teil des Gehäuses derart, daß sich die Luftgeschwindigkeit dort sehr langsam ändert, so daß die gröberen Kohlenteilchen in die Mahlzone zurückfallen, während die feinen Teilchen in der Luft schweben bleiben und mit ihr in die Behälter wandern.

Die Mühlen nach der Bauart Roulette und Fuller beruhen auf ähnlicher Grundlage, sind aber keine Pendelmühlen, sondern zerkleinern die Kohlen durch den Druck, den Kugeln auf eine Laufbahn ausüben. Zum Antrieb der Kugeln benutzt man umlaufende Arme, die an einer senkrechten Welle angebracht sind. Die Kohle wird in geeigneter Weise eingeführt und schnell bis auf körnigen oder mehligen Zustand zerkleinert. Die Mühlen nach Sturtevant oder Bonnot sind dagegen von den beschriebenen grundsätzlich verschieden. Bei der Mühle von Sturtevant läuft der Ring selbst um, während die Walzen elastisch angedrückt werden. Durch Änderung dieses Druckes kann man die Mahlfeinheit beeinflussen. Die Mühle nach Bonnot hat dagegen einen feststehenden Ring und treibt mittels eines umlaufenden Schlagwerkes Walzen, die unter dem Einfluß der Fliehkraft an ihre Bahn gedrückt werden. Diese Mühle ist mit einer Kammer zum Abscheiden des Staubes aus der Luft ausgerüstet. Beide Mühlen werden wagerecht angeordnet und brauchen daher keine stehenden Wellen mit senkrechten Motoren oder Kegelrädervorgelegen.

Beförderung und Lagerung des Kohlenstaubes.

Von den Mühlen wird der gemahlene Brennstoff durch einen Luftstrom oder mittels Schneckenförderer in die Vorratbehälter geschafft. Wird die Förderung mittels Luftstromes vorgezogen, so muß man den Kohlenstaub aus der Luft herausfällen, eine schwierige Aufgabe, die man häufig durch Batterien von Zyklonscheidern in Reihe hintereinander lösen muß. Diese Scheider sind mit der Hauptöffnung an die Mühle und mit einer kleinen Öffnung an die Außenluft angeschlossen.

In Zementfabriken verwendet man in der Regel einen großen Behälter, der 40 t Staubkohle oder noch mehr faßt und an dessen Boden mehrere der Anzahl der zu versorgenden Öfen entsprechende Schneckenförderer eingebaut sind. Diese kann man mit verschiedener Geschwindigkeit betreiben, und sie fördern die Kohle von dem Behälter bis zur Austrittöffnung am Ventilator, wo die Luft den Staub aufnimmt und in den Ofen schleudert. Allerdings wird durch eine solche Anordnung keine besonders innige Mischung von Kohle und Luft erzeugt; sie hat sich aber für Zementfabriken als ganz brauchbar erwiesen, vermutlich weil dort die Brennräume nicht beschränkt sind und schnelle Verbrennung oder kurze Flamme nicht notwendig ist.

Die Anwendung von Kohlenstaub zum Feuern von Dampfkesseln hat dagegen die Notwendigkeit geschaffen, vollständige Verbrennung in einer geringsten Zeit zu erzielen, damit man die Abmessungen der Brennräume in vernünftigen Grenzen halten kann; das hat zum Entwurf zahlloser Mischer und Brenner für solche Feuerungen geführt, die alle den Zweck verfolgen, ein inniges Gemisch, sozusagen eine brennbare Staubwolke, mit geringer Geschwindigkeit und im gewünschten Umfang in den Feuerraum zu treiben.

Wo die Kessel oder Feuerungen zahlreich oder verstreut sind, muß man besondere Mittel haben, um die Kohle von der Mühle in die Behälter an den Feuerungen zu fördern. Gegenüber der zumeist üblichen Förderschnecke ist die Förderung mit Druckluft in stetem Fortschritt begriffen. Am meisten findet man hier die Bauarten nach Fuller-Kinyon und nach Quigley. Nach dem ersteren Verfahren wird der Kohlenstaub mittels einer Schneckenpumpe mit langem Zylinder und elektrischem Antrieb aus dem Vorratbehälter entnommen und in gewissermaßen verdichtetem Zustand am Ende des Pumpenzylinders mit einem Strahl von Druckluft zusammengeführt, der ihn mit Luft durchsetzt und so beweglich macht, daß er leicht auf größere Entfernungen fortgeführt wird. Für Entfernungen von 360 m genügt ein Druck von 3 at. Mit einer Pumpe von 150 mm Zyl.-Dmr. kann man rd. 4 t/h auf die genannte Entfernung befördern. Für geringere Entfernungen genügen niedrigere Luftdrücke.

Das Verfahren nach Quigley benutzt zwei oder mehrere Kohlenstaubbehälter von etwa 8 t Fassungsraum, die auf Wagebalken angeordnet sind und abwechselnd gefüllt und entleert werden. Aus diesen Behältern fließt der Kohlenstaub in Blasbehälter, die sozusagen abwechselnd Kolben von Kohle und Kolben von Druckluft heraustreiben. Man kann so eine bestimmte Kohlenmenge lediglich durch Öffnen des Druckluftventils in irgend einen gegebenen Kesselbehälter befördern; z. B. lassen sich 1270 kg Kohle auf 180 m Entfernung durch eine 100 mm weite Rohrleitung mit Luft von rd. 1 at Überdruck fortschaffen.

Außer diesen Verfahren, wonach der Kohlenstaub im Ganzen in die Kesselbehälter geschafft wird, gibt es auch Verfahren zum unmittelbaren Verteilen des Kohlenstaubes mittels eines Luftstromes, z. B. das Verfahren nach Holbeck. Je nach den Verhältnissen kann man hier eine ringförmige oder eine offene Leitung anordnen. Bei ring-

[1]) Nach einem Vortrag von R. Jackson in „The Engineer" Bd. 137 vom 15. Februar 1924.

förmiger Leitung kehrt der unverbrauchte Kohlenstaub immer wieder in die Vorratbehälter zurück. Offene Leitung verwendet man am besten, wenn die Behälter nahe bei den Feuerungen liegen, weil sonst die Kosten der Anlage zu hoch werden.

Kohlenmühlen für den Zusammenbau mit Feuerungen.

Vereinzelt verwendet man zum Beschicken von Kohlenstaubfeuerungen auch vollständig in sich geschlossene Kohlenmühlen. Eine der ältesten dieser Art ist die von Bettington, die in Verbindung mit dem bekannten Dampfkessel für Kohlenstaubfeuerung ausgebildet wurde. Diese Kohlenmühle ist eine Schlagmühle und hat ein Gehäuse aus Stahlblech, das zugleich Ventilatorgehäuse ist und mit Sägezähnen versehene Schläger parallel zur Achse der Welle enthält. Das Ganze ruht auf schweren gußeisernen Seitenrahmen, die auch die Wellenlager und die Mischvorrichtung aufnehmen. Im Betrieb wird durch den Ventilator die Kohle gegen die Trommelwand getrieben und kommt hier mit den Schlägern in Berührung; während die feineren Staubteilchen durch den Luftstrom fortgeführt und in einem Scheider niedergeschlagen werden, fallen die größeren Bruchstücke der Kohle zunächst nieder und kehren dabei wieder in den Bereich der Schläger zurück.

Auf einem ähnlichen Verfahren beruht auch die Turbo-Mühle, deren zylindrisches Gehäuse in mehrere, getrennte Mahlstufen bildende Kammern geteilt ist. Diese Kammern sind mit auswechselbaren Bekleidungen versehen und durch kleine Öffnungen in der Nähe der Achse miteinander verbunden.

Zum Zerkleinern dient eine der Zahl der Kammern entsprechende Anzahl von Schlägern auf gemeinsamer Welle. Diese trägt auch an dem der Eintrittseite entgegengesetzten Gehäuseende ein in besonderer Kammer umlaufendes Gebläserad, welches dazu bestimmt ist, Luft durch die Mühle hindurchzusaugen. Dieser Luftstrom nimmt aus den einzelnen Kammern die feine zerkleinerte Kohle mit, während die ungenügend zerkleinerte zurückbleibt. Durch Regeln der Luftgeschwindigkeit hat man es also in der Hand, die Mahlfeinheit zu verändern.

Die Griffin-Mühle von Vickers unterscheidet sich von den vorbeschriebenen dadurch, daß sie verhältnismäßig langsam, nur mit 200 bis 250 Uml./min läuft. Man kann sie als zweistufige Mühle ansehen, deren erster Stufe die Kohle selbsttätig zugeführt wird. Hier wird die Kohle auf geringe Korngröße durch Schläger zerkleinert, die mit der Welle umlaufen, und das Mahlprodukt dieser Stufe wird in die zweite Stufe abgezogen, die mit Kugeln und Laufring arbeitet. Die Kugeln laufen hier mit der Welle um und wirken somit durch den Fliehkraftdruck, den sie auf ihre Laufbahn ausüben. Der feine Kohlenstaub wird durch einen Ventilator in eine Abscheidekammer abgezogen, wo sich die gröberen Teile niederschlagen und zur Mühle zurücklaufen, während die feinen Teile in der Luft schwebend erhalten werden und unmittelbar in den Brennraum gelangen. Auch hier kann man die Mahlfeinheit dadurch regeln, daß man die durch die Mühle hindurchgesaugte Luftmenge verändert.

Eine der neuesten Bauformen der in sich vollständig geschlossenen Kohlenmühlen ist die Atritor-Mühle. Diese Mühle kann Kohle bis zu 20 mm Korngröße aufnehmen, die mittels eines Schneckenförderers zunächst in einen Metallscheider gelangt. Hier wird die Kohle durch einen Strom von kalter Luft erfaßt, dessen Geschwindigkeit gerade ausreicht, um die Kohle in die Mahlzone zu heben. Durch diese Zone streicht ein Strom von angewärmter Luft, der die Aufgabe hat, die Kohle während des Mahlvorganges zu trocknen. Die Zerkleinerung erfolgt eher durch Reibung als durch Schlagen. Die Mittel hierzu sind eine umlaufende Stahlscheibe und darauf befestigte Schlagbolzen. Sie erzeugen bei ihrer Drehung Luftwirbel, welche die feinen Kohlenteilchen mitführen, und das so mit Kohlenstaub gesättigte Gemisch wirkt zerkleinernd auf die übrige Kohle. Der Luftstrom, der ständig durch die Mühle abgesaugt wird, führt den Staub mit in einen Scheider, wo die gröberen Staubteilchen zurückbleiben. Die Trockenwirkung der Mühle ist ziemlich bedeutend, da in der Mahlzone jederzeit nicht mehr als etwa 1 bis 1,2 kg Kohle über eine große Oberfläche verteilt sind.

Anlagen mit in sich abgeschlossenen Mühlen haben gegenüber den aus einem gemeinsamen Behälter gespeisten Staubfeuerungen wesentliche Vorteile in bezug auf Anlage-, Arbeitskosten und Kosten der Erneuerung. Allerdings kann man solche Mühlen heute nur für verhältnismäßig kleine Kesselanlagen verwenden, die rd. 180 bis 225 kg/h verdampfen. Aber es wird daran gearbeitet, die Leistungsfähigkeit dieser Maschinen zu steigern. Nur bei sehr großen Anlagen macht sich die Verwendung eines Hauptbehälters mit Verteilleitungen zu den einzelnen Feuerstellen bezahlt.

Die Staubkohle als Brennstoff.

Bei Kesselfeuerungen für gewöhnliche Kohle hängt der zweckmäßige Grad der Mahlfeinheit in gewissem Umfange von dem Gehalt der Kohle an flüchtigen Bestandteilen und Asche ab. Beispielsweise erzielt man die günstigsten Brennergebnisse bei einer Kohle mit 32 vH Flüchtigem und 25 vH Asche, wenn von dem Kohlenstaub 94 bis 95 vH durch ein 100er Sieb und 80 bis 85 vH durch ein 180er Sieb (B. S.) hindurchgehen, während von hochwertiger Kohle nur 80 vH durch das 100er Sieb und 60 vH durch das 180er Sieb hindurchzugehen brauchen, damit man eine ausreichend gute Verbrennung erzielt. In den Vereinigten Staaten verwendet man für Kohlenstaubfeuerungen gute Grubenkohle mit 10 bis 15 vH Aschengehalt und zerkleinert sie soweit, daß 90 vH durch das 100er Sieb hindurchgehen. Im allgemeinen muß man aber Kohle mit hohem Aschengehalt oder geringem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen feiner mahlen, als Kohle mit geringem Aschengehalt oder hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen.

Wichtiger als die Vermeidung übergroßer Mahlfeinheit ist es, zu verhindern, daß der Kohlenstaub grobe Teilchen mit 0,2 mm Dmr. oder mehr enthält. Diese Kohlestückchen veranlassen, daß sich brennende oder teilweise ausgebrannte Asche an den Wänden oder am Boden des Brennraumes ansetzt oder die Rauchröhren der Kessel verstopft.

Beim

Umbau vorhandener Kesselanlagen

mit Handfeuerungen oder selbsttätigen Rosten in solche für Kohlenstaubfeuerung bereitet in der Regel die Beschaffung genügend großer Brennräume Schwierigkeiten, weil man erst in neuerer Zeit erkannt hat, wie wichtig und vorteilhaft es ist, die Kessel hoch einzumauern und große Brennräume vorzusehen. Zumeist ist man daher gezwungen, beim Übergang zur Staubkohlenfeuerung die Kessel zu heben oder die Brennräume unter den Kesseln auszuschachten. Beide Wege haben jedoch ihre Grenzen in der Höhe des vorhandenen Kesselraumes und in der Art des Untergrundes. Man muß dann durch besondere Formgebung des Brennraumes versuchen, den vorliegenden Bedingungen Rechnung zu tragen.

Wo die Asche schwer schmelzbar ist, z. B. erst bei 1450 °C, fällt sie in der Regel schon fest im Brennraum nieder, so daß man sie leicht entfernen kann. Auch bei dem üblichen wechselnden Betrieb läßt sich die Asche noch leicht bewältigen, auch wenn ihr Schmelzpunkt schon bei 1300 bis 1350 °C liegt. Schwierigkeiten durch Verschlacken treten dagegen hauptsächlich auf, wenn man die Kesselanlage andauernd mit hoher Belastung betreiben muß und die Asche zwischen 1200 und 1350 ° schmilzt, namentlich auch bei Feuerungen mit beschränktem Brennraum. Es empfiehlt sich dann, besondere Einrichtungen zu treffen, die ermöglichen, die Asche in Schlackenform abzusetzen, was leicht ist, wenn man z. B. im Brennraum eine Vertiefung anordnet, die verhältnismäßig kühl gehalten wird und wo sich die Schlackentröpfchen schnell abkühlen. In Amerika benutzt man jetzt häufig Wasserschleier, die mittels einer Reihe von Wasserrohren im unteren Teil des Brennraumes erzeugt werden. Diese Rohre sind an den Kessel angeschlossen, so daß die von ihnen aufgenommene Wärme den Verdampfvorgang im Kessel unterstützt. Die Wirkung des Wasserschleiers besteht darin, daß er die Asche schnell abkühlt und Schlackenbildung verhindert. Er soll sich bei sehr verschiedenartiger Kohle gut bewährt haben.

Ein gewisser Teil der Asche wird allerdings stets durch den Kessel hindurchgeführt und setzt sich in den Rauchkanälen fest. Außerdem kann man damit rechnen, daß etwa 20 vH der anfallenden Asche durch den Schornstein abziehen. Nach den vorliegenden Erfahrungen haben sich jedoch hieraus keine Mißstände ergeben, im Gegenteil, gerade in dieser Beziehung unterscheidet sich die Staubkohlenfeuerung sehr wesentlich von den übrigen Feuerungen, weil die Rauchgase keinen Ruß, sondern nur unverbrennliche, überaus feine Ascheteilchen enthalten, die von der Luft auf sehr große Entfernungen mitgeführt werden und sich erst mit dem Regen niederschlagen. [M 188]

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4a Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Industriebetriebslehre. Die wirtschaftlich-technische Organisation des Industriebetriebes mit bes. Berücksichtigung der Maschinenindustrie. Von Dr.-Ing. E. Heidebroek. Berlin 1923, Julius Springer. 285 S. mit 91 Abb. u. 3 Tafeln. Preis Gm. 17,50.

Die Industriebetriebslehre behandelt die wirtschaftlich-technische Organisation des Industriebetriebes. Die gewaltige Bedeutung des Selbstkostenproblems, insbesondere in der Maschinenindustrie, wird hier von einem Ingenieur dargestellt. Es werden die Unkosten erklärt und eingeteilt, es wird gezeigt, wie man sie zu zergliedern und in geeignete Kanäle zu leiten hat, so daß sie einzeln erfaßt werden können.

Das Verfahren, die Unkosten in Hundertteilen der produktiven Löhne auszudrücken, wird kritisch der Unkostenverteilung auf die Lohnstunden gegenübergestellt. Auch die moderne Art der Platz- und Bankkosten ist behandelt. Im Anschluß daran entwickelt der Verfasser den organisatorischen Aufbau eines modernen Betriebes der Maschinenindustrie. Er beschreibt die einzelnen Abteilungen, ihre Zwecke und ihre Geschäftsführung, die Betriebsleitung und ihre Aufgaben, die ihr zur Seite stehenden Abteilungen: Betriebsbureau, Arbeitsverteilung, Vorrichtungsbureau usw., alles in ganz neuzeitlicher Auffassung und mit Erläuterungen, die erkennen lassen, daß der Verfasser seine Anschauungen in der Praxis erworben hat.

Sodann folgen das Kartenwesen im inneren Betrieb, der Materialschein, die Akkordkarte und der Laufzettel. Ganz allgemein und ohne Eingehen auf bestimmte Einzelfälle werden die Grundlagen erläutert, das Für und Wider der verschiedenen Lösungen besprochen, Arbeitsverteilung, Terminpläne für kleine, mittlere und große Betriebe erklärt. Der Verfasser führt auch die Schwierigkeiten auf dem vielseitigen, an Hindernissen reichen Gebiet des Materialdurchschubes durch die Werkstätten vor Augen.

Dann folgt die Revision und Zwischenrevision, die Polizei des Betriebes. Daß die sogenannten fliegenden Kontrollen nicht besonders erwähnt sind, mag eine Einzelheit sein, auf die mit Absicht nicht eingegangen wird. Dann folgen die Magazine, deren Aufgaben, Verwaltung, Lagerung und Kontrolle der Bestände, ferner die Zwischenmagazine, die gewissermaßen als Windkessel den Durchfluß der Teile durch die Betriebe regeln.

Alle diese Darstellungen sind durchaus nicht auf besondere Verhältnisse zugeschnitten, die angeführten Vordrucke und Pläne sind so allgemeiner Natur, daß sie nur zur Erklärung der Grundbegriffe dienen und den leitenden Gedanken klar hervortreten lassen.

Das Lohnwesen bezeichnet der Verfasser als den Nerv des Betriebes; hohe Löhne und billige Herstellungskosten schließen sich nicht gegenseitig aus. Vielfach sind billige Herstellung bei hohen Löhnen ein Kennzeichen gut geleiteter Betriebe. Das Lohnverfahren soll gerecht sein, eine genaue Ermittlung der Selbstkosten gestatten und den Anreiz zur Erhöhung der Leistung und Verbesserung der Methoden wachhalten. Die verschiedenen Lohnsysteme werden erläutert und es wird geprüft, inwieweit sie den obigen Anforderungen entsprechen.

Zeitlohn und Stücklohn werden an der Hand graphischer Darstellungen kritisiert und auf ihre Vor- und Nachteile geprüft, desgleichen die Prämienlohnverfahren, die Lohnsysteme von Halsey, die verschiedenen Bonus-Systeme, die Löhnungsmethoden von Roß und Schiller und die Soziallöhne.

Die nächsten Kapitel zeigen, wie man im Betrieb die Stücklohnzeiten oder Grundzeiten festlegt. Es wird auch erklärt, warum die Festlegung durch Meister nicht immer objektiv erfolgen kann, und warum die Mitwirkung der Arbeiterschaft keine gerechte Lösung bringt. Dagegen ergeben die wissenschaftliche Betriebsführung nach Taylor und die Zeitstudien unter besonderer Berücksichtigung der Ermüdungserscheinungen und der Übungsfähigkeit eine wichtige und gerechte Zeitbestimmung. Es werden dabei die Möglichkeiten für den weiteren Ausbau wissenschaftlicher Betriebsführung besprochen.

Die heiß umstrittene Frage der Entwertung und Abschreibung ist eingehend behandelt, ebenso die Abschreibung mit Rücksicht auf Geldentwertung. Wertvoll sind die anschließenden Beispiele, die den Zusammenhang von Geldstand oder Kapitalflüssigkeit, Abschreibungen und Reingewinn klar machen.

Daß zwischen Beschäftigungsgrad und Selbstkosten ein ganz gesetzmäßiger Zusammenhang besteht, wird an der Hand einer graphischen Darstellung recht interessant dargetan. Die voll ausgenutzte einfache Werkzeugmaschine kann unter Umständen auch bei höheren Stücklöhnen wirtschaftlich billiger sein, als die teuere Spezialmaschine, die nicht voll beschäftigt ist. Man soll also die technischen Leistungen und das wirtschaftliche Moment im Auge behalten. Damit wird das Problem der wirtschaftlich günstigsten Maschine angeschnitten.

Der Verfasser behandelt weiter Arbeitsteilung, Normalisierung, Massen- und Serienfabrikation mit ihren Vor- und Nachteilen und erwähnt, daß zu große Arbeitsteilung, also Mechanisierung, nachteilig auf den Arbeiter wirkt. Mehr Anregung und Übersicht gewährt die Gruppenfabrikation als Ausweg aus der Mechanisierung.

Die interessante Erläuterung des Zusammenhanges der Lohnkosten mit den Unkosten bei verschieden großen Betrieben ergibt als Schlußfolgerung, daß die Lohnhöhe die Gesamtgestehungskosten nicht so sehr beeinflußt, wie die Unkosten. Viele amerikanische Automobilfabriken kaufen z. B. ihre Hauptteile in Sonderfabriken und setzen die Wagen nur zusammen. Da sie erst bezahlen, wenn der Gegenstand eintrifft, haben sie kleinen Kapitaldienst, kleine Unkosten und daher niedrige Selbstkosten.

Es folgt eine längere Untersuchung über die Unkostenzuschläge bei veränderten Material- und Lohnpreisen, eine Sache, die jetzt bei Umstellung auf Goldbilanz etwas an Bedeutung verliert.

Auf Grund von genauen Kalkulationen wird in einem besonderen Kapitel die Wahl der zweckmäßigsten Betriebskraft erläutert. Der Verfasser entwickelt die Tarife der Kraftwerke.

Zum Schluß wird der Selbstkostenplan einer Maschinenfabrik behandelt, die praktische Anwendung der allgemeinen Erörterungen der früheren Kapitel. Hier wird nun mehr als früher in Einzelheiten eingetreten. Neues taucht hier nicht auf, nur werden die aufgestellten Grundsätze praktisch erprobt.

Die Ausführungen über die Kalkulation hätten keinen Wert ohne die Beantwortung der Frage: Wie erfolgt nun die Preisbildung auf Grund der Kalkulation? Hierfür sind Berechnungen für Material, Löhne und Unkosten aufgestellt bei stabilem Geldwert und bei veränderlichem Geldwert. Es werden an einem Diagramm die Beziehungen erklärt, die zwischen Stückpreis und Gesamtpreis, Beschäftigungsgrad und Stückzahl bestehen.

Das Buch gibt einen gründlichen Einblick in die verzwickten Zusammenhänge der wirtschaftlichen Gestehungskosten. Für Studierende, für den Ingenieur in der Industrie, für Arbeitgeber und Arbeitnehmer, Kaufmann und Techniker gibt es in gleicher Weise eine Fülle von Anregungen. [B 225] Dipl.-Ing. Fattler.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Anwendung der Elektrizität in der Landwirtschaft.

Die von Herrn Direktor August Petri, Belgard-Pommern, in dieser Zeitschrift Bd. 67 (1923) S. 1053 gemachten Ausführungen bedürfen zum Teil einer Berichtigung, weil sie nicht ganz den geschichtlichen und technisch-wirtschaftlichen Tatsachen entsprechen.

Die elektrische Energie erleichtert wohl den Teil der Hofarbeiten, der nur mit kleineren Maschinen ausgeführt werden kann. Die Leutenot auf dem Lande ist aber nicht bei der Hofarbeit, sondern bei der Feldarbeit von einschneidender Bedeutung. Bis jetzt war es nur möglich, die Leutenot durch die Verwendung von Dampf- und Verbrennungskraftmaschinen zum Antriebe der auf dem Felde zum Ackern, zur Saat, zur Pflanzenpflege und zur Ernte benutzten Maschinen und Geräte wirksam zu lindern, weil hierzu trotz jahrzehntelanger Bemühungen die Elektrizität nicht nutzbringend verwendbar ist. Das ebenfalls einen großen Leutebedarf aufweisende Dreschen wird — wie noch gezeigt wird — billiger und zuverlässiger durch Dampflokomobilen besorgt.

Schon seit nahezu 60 Jahren benutzt auch der Kleingrundbesitz Kraftdreschsätze. Denn schon mit der Einführung der Dampf-Dreschmaschine beim Großgrundbesitz um die Mitte der 60er Jahre vorigen Jahrhunderts wurden bäuerliche Dampfdreschgenossenschaften gegründet und Unternehmer befaßten sich mit der Vermietung von Dampf-Dreschsätzen an kleine und kleinste Bauern[1]). Heute arbeiten allein im Kleingrundbesitz viele tausend Dampf-Dreschsätze.

Nicht nur bei vorhandenen Dampf-Dreschsätzen und nicht nur bei Nur-Anrechnung der Kosten für Kohlen, Öl und Bedienung bei diesen ist die wirtschaftliche Überlegenheit des elektrischen Dreschens strittig, sondern auch bei neuanzuschaffenden Maschinen und voller Inrechnungstellung der Maschinenabnutzungs- und -instandhaltungskosten. Unter Zugrundelegung der erfahrungsmäßigen Sätze für Maschinenbenutzung und -instandhaltung, der Maschinen- und der Kohlenpreise sowie der Strompreise einer unmittelbar auf der Kohle errichteten und bereits ausgebauten Überlandzentrale nach dem Stande von Mitte Dezember 1923 stellen sich die Betriebskosten für die Antriebsmaschine eines Dreschsatzes der meist gebräuchlichen Art mit etwa 300 Ztr. = 15 t Tagesleistung an erdroschenem Korn bei Berücksichtigung der angegebenen Verbrauchsziffern beim Elektromotor um rd. 40 vH teurer als bei der Heißdampf-Lokomobile und um rd. 5 vH teurer als bei der Sattdampf-Lokomobile, bei Berücksichtigung der niedrigeren Verbrauchziffern bei neuzeitlichen Lokomobilen und des sich auf Grund eingehender Versuche[2]) an Gross-Dreschmaschinen mit Strohpresse und leutesparenden Einrichtungen und an Klein-Dreschmaschinen ohne leutesparende Einrichtungen ergebenden wahrscheinlicheren höheren Stromverbrauches bei elektrischem Betrieb um rd. 90 vH teurer als bei der Heißdampf-Lokomobile und um rd. 60 vH teurer als bei der Sattdampf-Lokomobile.

Nun ist aber die Lokomobile keineswegs auf Steinkohle als Brennstoff allein angewiesen; sie kann auch in wirtschaftlicher Weise mit Braunkohlenbriketts, Torf, Holz und Holzabfällen und neuerdings auch in der deutschen Landwirtschaft noch mit Stroh gefeuert werden, da dessen Verkaufswert noch nicht einmal den dritten Teil des Kohlenpreises beträgt und daher trotz seines Mehrverbrauches an Gewicht und einiger Mehrausgaben für Bedienung und Nebenkosten die Brennstoffkosten verringert werden. In diesem Fall arbeitet der Elektromotor um nahezu 100 vH teurer als die neuzeitliche Heißdampf-Lokomobile und um etwa 85 vH teurer als die neuzeitliche Sattdampf-Lokomobile.

Von besonderer Wichtigkeit ist, daß der Landwirt den Brennstoff für die Lokomobile je nach Marktlage auswählen, ja sogar im eigenen Betriebe — Torf, Holz, Holzabfälle und Stroh — gewinnen kann[3]). Muß er den Brennstoff kaufen, dann kann er die günstigste Konjunktur ausnutzen, weil Brennstoffe in beliebiger Menge und auf beliebige Zeit aufspeicherbar sind. Der elektrische Strom kann aber nur dann bezogen werden, wenn er unmittelbar verbraucht wird, muß also ohne Rücksicht auf die Marktlage gekauft werden.

Soll der Elektromotor einmal außerhalb des Leitungsnetzbereiches betrieben werden, so ist die kostspielige Verlegung von Leitungen nötig. Die Lokomobile dagegen kann jederzeit und an jeder beliebigen Stelle im Hof und auf dem Feld in Betrieb genommen werden, also immer dort, wo es die Rücksicht auf Gespannbelastung oder Witterungsverhältnisse als zweckmäßig erscheinen läßt. Ist sie einmal angeheizt, was höchstenfalls 1½ h Zeit erfordert, dann ist sie auch stets betriebsbereit. Die Betriebsbereitschaft des Elektromotors ist dagegen nur eine theoretische; denn sie besteht nur dann, wenn die Zentrale den Strom in der erforderlichen Menge und Spannung liefern kann, und wenn die Dreschordnung die Inbetriebnahme zuläßt. Ohne Dreschordnung wird kein Überlandwerk auf die Dauer auskommen können, an das Dreschmotoren in größerer Zahl angeschlossen sind, weil zur Verhinderung unerträglicher Belastungsspitzen nur ein Teil der Motoren gleichzeitig in Betrieb genommen werden darf.

[1]) Bussen, „Die genossenschaftliche Benutzung landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte", Verlag des Reichsverbandes der deutschen landwirtschaftlichen Genossenschaften; Bericht des Kgl. Bayer. Staatsministeriums von 1908; Festschrift für die 27. Versammlung deutscher Landwirte und Forstwirte in Breslau 1869; Verwaltungsberichte der Südd. Eisen- und Stahl-Berufsgenossenschaft für 1904 und 1913.

[2]) Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Heft 285.

[3]) Vortrag von Prof. Dr. Backhaus im Klub der Landwirte zu Berlin am 4. Dezember 1923.

Die Annahme, daß durch die Krafterzeugung in großen Kraftwerken gegenüber kleinen Einzelanlagen 50 vH Kohle erspart wird, trifft in dieser allgemeinen Fassung nicht zu. Unter Zugrundelegung des aus den Statistiken der Elektrizitätswerke zu errechnenden Wärmeverbrauches großer Kraftwerke und der in der Literatur[1]) bekannt gewordenen Jahreswirkungsgrade der Energieübertragung vom Kraftwerk bis zur Motorschalttafel läßt sich feststellen, daß unter mittleren Verhältnissen das Überlandwerk um nahezu 50 vH mehr Wärme als die neuzeitliche Heißdampf-Lokomobile und nur um etwa 8 vH weniger Wärme als die neuzeitliche Sattdampf-Lokomobile für die gleiche Arbeit verbraucht. Es gibt also auch Fälle, in denen die Lokomobile wärmewirtschaftlich günstiger arbeitet als ein Überlandwerk. Was will es aber gegenüber den privatwirtschaftlichen und betrieblichen Vorteilen der Lokomobile bedeuten, wenn wirklich in dem einen oder anderen Falle einmal ein Überlandwerk etwas weniger Kohle zur gleichen Arbeit benötigt? Der volkswirtschaftliche Vorteil, der darin liegen kann, wird durch den volkswirtschaftlichen Nachteil der Verteuerung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse infolge der höheren Betriebskosten des Elektromotors überreichlich ausgeglichen.

Hinsichtlich der Versuche beim Dreschbetrieb muß ich darauf hinweisen, daß bis jetzt die Vergleichsversuche an Dreschmaschinen — sobald sie unter sachverständiger Kontrolle und auf gleicher Grundlage durchgeführt wurden — die wirtschaftliche Überlegenheit der Lokomobile ergeben haben[2]).

Alle bis jetzt bekannt gewordenen Vergleichsversuche in Molkereien haben den Fehler, daß bei ihrer Durchführung und Auswertung nicht der Einfluß der Betriebführung und der verarbeiteten Milchmenge berücksichtigt wurde. Den von Petri angeführten Versuch habe ich bereits früher kritisch behandelt und seine mangelnde Beweiskraft festgestellt[3]). Bei wärmewirtschaftlich richtiger Betriebführung und bei Verwendung geeigneter Dampfkessel[4]) wird sich stets ergeben, daß der Dampfmaschinenantrieb in Molkereien und auch in fast allen landwirtschaftlichen Neben- und Hauptbetrieben der wärme- und privatwirtschaftlich zweckmäßigste ist. Die Tatsache, daß es z. B. nur eines Mehr-Brennstoffaufwandes von 3,6 vH bedarf, um statt Dampf mit 0,5 at solchen mit 10 at zu erzeugen, dessen Arbeitsfähigkeit zur Krafterzeugung ausnutzbar ist, ist die Grundlage eines wärmewirtschaftlichen, auf natürlichen Vorgängen beruhenden Gesetzes, nach dem in allen Betrieben mit Dampfwärmebedarf der Dampf vor der Wärmeabgabe zur Krafterzeugung herangezogen werden muß. Es sei auch noch auf die Schäden hingewiesen, die bei Anschluß von Molkereien — besonders mit Säuglingsmilchverarbeitung — an Überlandwerke durch Ausbleiben des Stromes entstehen können.

Beim heutigen Stande der Technik sollte sich die Anwendung der Elektrizität in der Landwirtschaft auf Kleinmaschinen und Beleuchtung beschränken, die aber einen so niedrigen Stromverbrauch haben, daß der Bezug von Überlandwerken gegenüber der Erzeugung in örtlichen Kleinkraftwerken im Anschluß an wärmeverbrauchende Betriebe — also mit Ausnutzung der Wärme und der Arbeitsfähigkeit des Dampfes — unwirtschaftlich ist. Kleinkraftwerke sind betriebsicherer, zumal der in ihnen erzeugte Gleichstrom speicherfähig ist.

Magdeburg. Charbonnier.

Hierzu ist folgende Rückäußerung eingegangen:

Richtig ist, daß ich auf das Dreschen mit Lokomobilen in Genossenschaften beim Kleingrundbesitz nicht eingegangen bin, weil dieses außerhalb des Rahmens meiner Aufgabe lag.

Was nun die Kosten des Dreschens mit Lokomobilen oder Elektrizität anbelangt, so bestätigen die sehr genauen, im Beisein von Herrn Charbonnier, in Kamissow durchgeführten Dreschversuche zwischen Heißdampflokomobile und Elektromotor meine früheren Angaben, daß die Stromkosten etwa 30 vH höher sind als die reinen Betriebskosten bei Lokomobilenbetrieb. Dabei betrug der nackte Kohlenverbrauch 1,08 kg gegenüber 0,4 kWh für 1 Ztr. Getreide. Die Gegenseite hat diese Versuche allerdings zum Teil einseitig ausgewertet. Sie hat nämlich die ganze Versuchsreihe verglichen, anstatt nur diejenigen herauszugreifen, für die dieselben Verhältnisse vorlagen. Ich stehe nun nach wie vor auf dem Standpunkt, daß dieser geringe Unterschied durch die sonstigen Vorteile des elektrischen Antriebes, wie stete Betriebsbereitschaft, die namentlich in nassen Jahren ganz besonders wertvoll ist, mehr als aufgewogen wird. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß im allgemeinen der Kohlenverbrauch höher ist, wie oben angegeben, denn die Bedienung einer Lokomobile kann in der Praxis unmöglich so durchgeführt werden, wie bei solchen Versuchsgelegenheiten.

Beim elektrischen Antrieb fallen derartige Gesichtspunkte ganz fort. Um praktisch verwertbare Unterlagen zu bekommen, habe ich in verschiedenen Anlagen genaue Aufzeichnungen für die ganze Dreschperiode machen lassen, und da habe ich als durchschnittlichen Kohlenverbrauch bei Heißdampflokomobilen 1,2 kg, bei Sattdampflokomobilen rd. 2,5 kg Kohlen für 1 Ztr. Getreide festgestellt.

Nimmt man aber beim Dreschen die festen Kosten für die Lokomobile und den Motor hinzu, so zeigt das nachstehende Beispiel, das im Dezember 1923 aufgestellt wurde, ein ganz anderes Bild. Sollten sich die Preise auch geändert haben — Anschaffungs- und Stromkosten sind inzwischen heruntergegangen —, so ist das für die Gesamtbeurteilung belanglos. Man darf nicht übersehen, daß bei kleineren Gütern die Verhältnisse für die Lokomobile viel ungünstiger werden, bei größeren Gütern und größerem Körnerertrag selbstverständlich besser. Die mangelhafte Ausnutzung aller Maschinen ist das Grundübel in der Landwirtschaft und macht Einzelanlagen in den meisten Fällen teuer. Diesen Mangel beseitigen volkswirtschaftlich die großen Überlandzentralen, in denen ein Ausgleich stattfindet, der die Wirtschaftlichkeit der Werke günstig beeinflußt und den mechanischen Antrieb bis zu den kleinsten Maschinen herunter gestattet. Dadurch wird eben der Leutenot wirksam begegnet, wenn ich auch zugebe, daß der elektrische Antrieb von Feldbearbeitungsmaschinen bislang nicht den Erwartungen entsprochen hat. Ich habe aber die Zuversicht, daß wir in verhältnismäßig kurzer Zeit auch hier große Umwälzungen erleben werden.

Nun zu dem Beispiel, das sich auf ein Gut von 3000 Morgen unter dem Pfluge bei einer durchschnittlichen Getreideernte von 16 000 Ztr. bezieht. Die einzelnen Verbrauchzahlen gelten immer für den Zentner marktfähigen Getreides bei einer Leistung des Dreschkastens von 40 Ztr./h.

Lokomobile.

1. Kohlenverbrauch 1,08 kg	5,4 ₰
2. Ölverbrauch	0,24 „
3. Bedienung (Tagelohn 3 ℳ)	0,75 „
4. Anfuhr 5 ℳ/t	0,54 „
zusammen	6,93 ₰
5. 15 vH Verzinsung, Abschreibung, Instandhaltung von 11 000 ℳ je Ztr.	10,00 „
zusammen	16,93 ₰

Elektromotor.

1. Stromverbrauch 0,4 kWh (Strompreis Dezember 1923 25 ₰/kWh)	10,00 ₰
2. 12 vH Verzinsung, Abschreibung und Instandhaltung für den Elektromotor von 4000 ℳ einschl. der anteiligen Kosten der Niederspannungsleitungen je Ztr.	3,00 „
zusammen	13,00 ₰

Beim Elektromotor etwas geringere Sätze für Verzinsung usw. anzusetzen, als bei der Heißdampflokomobile, ist durchaus gerechtfertigt.

Für die Versuche in Molkereien gilt dasselbe; denn nur bei der Dampfmaschine wird bei solchen Gelegenheiten die Wartung und Bedienung der Feuerung gegenüber den tatsächlichen Verhältnissen günstig beeinflußt. Daß die von mir gestellten Versuche durch den Kesselverein wiederholt und ungefähr dasselbe Ergebnis gezeitigt haben, nur nebenbei. Auch dieser gibt in seinem Gutachten an, daß die zur Erzeugung der Kraft erforderliche Wärmemenge nur einen Bruchteil der für Heizzwecke beträgt. Ferner ist die Betriebzeit zu kurz, und es werden die dadurch bedingten Kesselverluste zu groß. Dazu kommt, daß neben dem Abdampf noch viel Frischdampf erforderlich ist.

Daß man für die Lokomobile neben der Steinkohle vorteilhaft Torf, Holz und andere minderwertige Brennmaterialien, die aber immer an besondere Verhältnisse gebunden sind und damit für die Allgemeinheit nicht in Frage kommen, verwenden kann, ist selbstverständlich. Vor dem Kriege trat dieses nur in beschränktem Maß in Erscheinung, weil die Kohle verhältnismäßig billig gegenüber den Werbungskosten der oben genannten Brennmaterialien war. Die Bedeutung, die diese Produkte während des Krieges und der Nachkriegszeit erlangt haben, ist meiner Ansicht nach nur eine vorübergehende Erscheinung. Vor dem Kriege war es jedenfalls so, daß auch auf Gütern, die derartige Brennstoffe zur Verfügung hatten, in der Hauptsache der Elektromotor gebraucht wurde.

Die Feuerung von Stroh kommt bei den deutschen Verhältnissen nur ganz bedingt in Frage. Stroh ist im allgemeinen dem Landmann für Düngerzwecke viel zu wertvoll, um es etwa zum Heizen zu gebrauchen.

Wie weit der Landwirt bei der Verwendung von Steinkohle und dergl. die Konjunktur besser ausnützen kann, lasse ich dahingestellt. In den letzten Monaten, in denen die Kohle erheblich billiger geworden ist, während man das Gegenteil annahm, wird es auch umgekehrt gewesen sein. Die Behauptung, daß keine Überlandzentrale auf die Dauer ohne Dreschordnung auskommen könne, ist nicht zutreffend. Belgard z. B. kommt ohne solche Maßregel aus. Während der Kriegs- und Nachkriegszeit mußten solche Verordnungen allerdings herausgegeben werden, weil es nicht möglich war, für den gleichzeitigen Drusch genügend Kohle und die erforderlichen Maschinen zu beschaffen. Das war kein angenehmer Zustand, der aber bei den Lokomobil-Dreschgenossenschaften — auch hier kann nur nacheinander gedroschen werden — noch heute besteht, und immer bestehen bleiben wird, daher auch zum großen Teil die Auflösung solcher Genossenschaften und Anschluß an die Überlandwerke.

Auch meine Angabe, daß in den größeren Kraftwerken etwa 50 vH Kohle gegenüber der Einzelverfeuerung in Tausenden von Einzelanlagen gespart wird, halte ich voll aufrecht. Ebenso ist die Betriebsicherheit unserer Überlandzentralen heute in den meisten Fällen vollkommen ausreichend.

Genau so verhält es sich mit dem Endurteil der Zuschrift über die Überlandwerke, die diese und jene Bequemlichkeiten brächten, sonst aber unwirtschaftlich wären, und örtliche Kleinkraftwerke im Anschluß an wärmeverbrauchende Betriebe als das Ideal hinstellt. Die Praxis hat anders geurteilt; denn die Überlandwerke haben sich von Jahr zu Jahr mehr ausgedehnt und werden es weiter tun. [Z 2088]

Belgard. Aug. Petri.

[1]) Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke Nr. 266/277 und Mitteilungen der Württ. Techn. Beratungsstelle 1920 Nr. 1 bis 4.

[2]) Deutsche Landwirtschaftliche Presse 1913 und 1922.

[3]) „Die Technik in der Landwirtschaft", Bd. 2 S. 89.

[4]) „Die Technik in der Landwirtschaft", Bd. 3 S. 76.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 18 SONNABEND, 3. MAI 1924 BD. 68

Flüssige Brennstoffe.

INHALT

Die im vorliegenden Heft vereinigten Arbeiten von Schlawe, Goos, Müller und Ernst sowie die in Heft 17 veröffentlichte Arbeit von Aufhäuser sind auf der Öltagung des Hamburger Bezirksvereines des Vereines deutscher Ingenieure am 1. März 1924 in Hamburg vorgetragen worden.

Die Entwicklung der Erdölfrage seit dem Jahre 1911.

Von Prof. H. O. Schlawe, vormals Generaldirektor der rumänischen Petroleumunternehmungen Disconto-Gesellschaft — S. Bleichröder, Berlin.

Im Anschluß an einen vom verstorbenen Geh. Hofrat Professor Dr. Oebbeke in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure vom Juni 1911 in Breslau gehaltenen Vortrag werden die weitere Entwicklung der Erdölfrage seit dem Jahre 1911, und zwar die heutige Bedeutung des Erdöls für die Weltwirtschaft, die gegenwärtige Gewinnung an Rohöl, sowie die Möglichkeit des Ersatzes einzelner Erdölerzeugnisse durch solche andern Ursprungs behandelt.

In der 52. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure vom Juni 1911 in Breslau hielt der seither verstorbene hervorragende Geologe Geh. Hofrat Professor Dr. Oebbeke in München einen Vortrag über „Das Vorkommen, die Beschaffenheit und die wirtschaftliche Bedeutung des Erdöls". Es ist bezeichnend, daß damals, nur drei Jahre vor dem Weltkriege, die Kenntnis des Erdöls, selbst in den Kreisen der Techniker, noch so wenig verbreitet war, daß sich Oebbeke veranlaßt fühlte, einen großen Teil seines Vortrages der Erläuterung der Entstehung des Erdöls, der Herstellung und der Art der daraus gewonnenen Erzeugnisse und deren Verwendung zu widmen. Diese Unkenntnis ist nunmehr geschwunden. Zunächst infolge des Krieges, dann aber hat die ungeheure Zunahme der Verwendung von Verbrennungsmaschinen so vielfacher Art und auf so mannigfachen Gebieten der Friedenswirtschaft ebenso wie die Verwendung von Erdölerzeugnissen als Heizstoff die Kenntnis vom Erdöl sogar außerhalb technischer Kreise derartig verbreitet, daß es heutzutage nicht mehr notwendig erscheint, auf Fragen einzugehen, die Oebbeke noch behandeln mußte. Jeder Zeitungsleser weiß heute, was das Erdöl vor allem für den Krieg bedeutet; man weiß, daß die Verbündeten, wie Lord Curzon dies noch kürzlich gesagt hat, den Krieg nur dank ihrer Beherrschung des Erdöls gewonnen haben. Aus dieser Überzeugung ist der jetzige Kampf um die Erdölvorkommen der Welt seitens der Mächte erwachsen, die den nächsten Krieg vorbereiten, und damit auch die hervorragende Bedeutung des Erdöls für die auswärtige Politik der Großmächte. Zu diesen Mächten gehört Deutschland vorläufig nicht mehr, es wohnt deshalb dem Kampf als nur mittelbar beteiligter Zuschauer bei, insofern seine eigenen Belange zeitweilig als Ausgleich in jenem Kampfe verwendet werden. Für unser Vaterland steht an erster Stelle die Wichtigkeit des Erdöls für die Friedenswirtschaft.

Im nachfolgenden will ich versuchen, im Anschluß an den Vortrag Oebbekes darzulegen, soweit es der Raum zuläßt, was sich seit dem Jahre 1911 bezüglich der Bedeutung des Erdöls, der Erdölgewinnung in der Welt und in den wichtigeren Vorkommen, sowie des Verbrauches an Erdölerzeugnissen geändert hat, um abschließend eine Frage zu behandeln, die für unser Vaterland von besonderer Wichtigkeit ist, nämlich die Möglichkeiten des Ersatzes einzelner Erdölerzeugnisse durch solche andern Ursprunges. Nur wenige Worte über die Entstehung des Erdöls sowie seine Verarbeitung mögen, trotz der auferlegten Einschränkung, gestattet sein, um das seinerzeit von Oebbeke Vorgetragene bis zur Gegenwart fortzuführen.

Was die Entstehung des Erdöls betrifft, so herrschte im Jahr 1911 die Annahme, daß es organischen Ursprungs sei, d. i. die sogenannte Engler-Höfersche Theorie, allgemein vor, während der unorganische Ursprung nur noch von wenigen Chemikern vertreten wurde. Dies hat sich in den letzten Jahren insofern verschoben, als die unorganische Entstehung des Erdöls neuerdings wieder einzelne Vertreter gefunden hat, seitdem es dem französischen Chemiker Prof. Sabatier gelungen ist, auf chemischem Wege aus unorganischen Stoffen erdölähnliche Flüssigkeiten herzustellen, um durch diesen Laboratoriumsversuch auf die Entstehungstheorie in ähnlicher, wenn auch weniger durchschlagender Weise einzuwirken, wie früher Engler, als es ihm gelang, durch Destillation organischer Stoffe eine erdölartige Flüssigkeit zu erhalten. Zu bemerken wäre nur, daß wohl beide Versuche das gemeinsame Ergebnis haben, daß es möglich ist, auf synthetischem Wege erdölähnliche Flüssigkeiten herzustellen, daß dadurch aber noch nicht der Beweis geführt wird, daß das in der Natur vorkommende Erdöl auf die eine oder die andre Weise entstanden sein muß.

Von den Anhängern der organischen Entstehung wird u. a. die optische Aktivität des Erdöls als wichtiger Beweis für dessen organischen Ursprung angeführt. Demgegenüber erklären Anhänger der unorganischen Theorie, daß die optische Aktivität auch durch Aufnahme organischer Stoffe bei den Wanderungen des Erdöls in den Gesteinschichten und -spalten der Erdrinde zu erklären sein könnte. Anderseits ist darauf hinzuweisen, daß die unorganische Theorie den Zusammenhang oder, genauer gesagt, das benachbarte Vorkommen von großen Erdöllagern und großen Salzstöcken, das in weiten Teilen der Welt beinahe die Regel ist, nicht zu erklären bemüht ist oder gewußt hat. Abschließend wäre zu sagen, daß auch nach dem Sabatierschen Versuche die große Mehrzahl der Fachleute nach wie vor Anhänger der Engler-Höferschen Theorie geblieben ist. Unter dem praktischen Gesichtspunkt ist der Streit zwischen den beiden Theorien bisher ziemlich belanglos, denn die örtlich-geologische Forschung hat wesentliche Richtlinien weder aus der einen noch der andern ziehen können. Für die Geologen, welche wissen, daß Erdöl in ausbeutungswürdiger Menge nur in sedimentären Schichten gefunden werden kann, kommt es darauf an, zu erforschen, wo sich das auf die eine oder die andre Art entstandene Erdöl heute befindet, und um dieses festzustellen, suchen sie, wie auch 1911, nach Antiklinalen, Domen und andern Strukturen in geologischen Formationen, die, wie die Entstehung auch gewesen sei, als ölführend angesehen werden können.

Was die Fortschritte in der Verarbeitung des Erdöls auf Erzeugnisse betrifft, so wäre zunächst die in großem Maßstabe zunehmende Anwendung der „Cracking"- oder Spaltungsverfahren zur Herstellung von Benzin aus schwereren Bestandteilen hervorzuheben, sowie die Gewinnung von Benzin aus Erdgas. Das erstgenannte Verfahren ist bereits von Oebbeke erwähnt, und seine Grundlagen haben sich seitdem nicht wesentlich geändert. Nur die gewaltige Zunahme der Spaltungsanlagen, vor allem in den Vereinigten Staaten, ist von größter Bedeutung, weil es sonst unmöglich gewesen wäre, die Benzinmengen zu beschaffen, die das heutige Kraftfahrwesen braucht. Die einfache Destillation des Erdöls hätte derartige Mengen niemals liefern können. Dies verdeutlichen am besten die nachfolgenden Zahlen für die Vereinigten Staaten:

	1914	1922
Kraftwagen	1 600 000	12 357 376
Benzinerzeugung	1 460 038 200 Gall.[1])	6 202 234 613 Gall.
Benzinverbr. bei 400 Gall. für jeden Wagen jährlich	640 000 000 „	4 942 950 400 „

Von der Benzinherstellung des Jahres 1922 entfielen 3 721 345 957 Gall. auf die einfache Destillation des Rohöls, 1 860 672 978 Gall. auf Spaltverfahren und 496 980 900 Gall. auf aus Erdgas gewonnenes Benzin[2]).

Als sehr bedeutsamer Vorbote eines weiteren Fortschrittes in den Verarbeitungsverfahren des Rohöls ist das in den allerletzten Jahren erfolgte Eindringen der Chemie in die Herstellung von Erdölerzeugnissen anzusprechen; denn während die Verarbeitung des Steinkohlenteers sich seit langen Jahren zu einer fast rein chemischen Industrie ausgewachsen und auf diese Weise die bekannten Riesenfortschritte erzielt hat, verblieb die Rohölverarbeitung bei der einfachen Destillation und, abgesehen von dem noch zu besprechenden Edeleanu-Verfahren, bei der Raffination mittels Schwefelsäure; beides sind aber durchaus rohe Verfahren, die nicht nur nicht alle wertvollen Bestandteile des Rohstoffes herausziehen, sondern einzelne von ihnen sogar zerstören. Der Grund für das Festhalten an der rohen Verarbeitung ist darin zu sehen, daß auch sie gewinnbringend war, und somit der wirtschaftliche Antrieb zur besseren Ausnützung des Rohstoffes durch fortgeschrittenere Verfahren fehlte. Zu den bedeutsamsten Fortschritten in der Raffination der Erdöldestillate dürfte das schon erwähnte Edeleanu-Verfahren anzusprechen sein, dessen Patente in deutschem Besitz sind.

Dr. Edeleanu verwendet flüssige schweflige Säure in geschlossenem Kreislauf und erzielt hierdurch eine Scheidung des zu raffinierenden Destillates in zwei Teile, das Raffinat und den Extrakt; letzterer enthält die ungesättigten Kohlenwasserstoffe, die bei Anwendung des gewöhnlichen Raffinationsverfahrens das Rußen der aus gewissen Rohölen hergestellten Leuchtöle verursachen. Das nach diesem Verfahren raffinierte Leuchtöl ist hochwertig, und der Extrakt kann behufs Gewinnung der in ihm enthaltenen Bestandteile weiter verarbeitet werden. Größere Edeleanu-Anlagen bestehen in Rumänien, auf Borneo, in Frankreich, und eine solche für Kalifornien ist bereits abgeschlossen. Das Edeleanu-Verfahren hat hohen Wert auch für die Raffination anderer als der aus Erdöl gewonnenen Destillate.

Andre neuere Verfahren, die z. B. Erdgas zur Destillation oder silica gel. (kolloidale Kieselsäure) behufs Adsorption verwenden, haben noch die Probe im Betriebe oder wenigstens im Großbetriebe zu bestehen. Ferner ist wohl anzunehmen, daß die neueren Verfahren der Hydrierung ungesättigter Kohlenwasserstoffe wie beim Bergiusverfahren in absehbarer, wenn nicht sogar kurzer Zeit, auch bei der Herstellung von Erdölerzeugnissen Anwendung finden werden.

Ehe ich nun zur Behandlung der im Eingange bezeichneten Punkte schreite, möchte ich darauf hinweisen, daß eine erschöpfende, zeitlich geordnete Behandlung sämtlicher Vorgänge in dem mir gesteckten Rahmen unmöglich ist und auch wenig zweckdienlich sein würde, weil das wesentlichste Merkmal der Erdölindustrie der Welt eine sprunghafte und dabei unausgesetzt wechselnde Entwicklung ist, in der kein anderer leitender Faden zu entdecken ist als der Gedanke, dem unausgesetzt steigenden, wenn auch manchmal wechselnden Bedarf an einzelnen Erdölerzeugnissen in möglichst kurzer Frist und fast ohne Rücksicht auf die Kosten zu entsprechen, wobei man sich auf die Ansicht stützt, daß sich Bedarf und Förderung immer wieder die Wage halten werden, ohne für diese Überzeugung eine andre als eine rein gefühlsmäßige Unterlage zu haben. Dies gilt vor allem für die Rohölfeuerung. Wie H. L. Doherty, Vizepräsident des amerikanischen Petroleum-Institutes, ein hervorragender Fachmann und Praktiker, im September v. J. in einem in der Versammlung der amerikanischen National Petroleum Association gehaltenen Vortrag darlegte, wird von der Gesamtheit der auf Öl bohrenden Unternehmungen seit langen Jahren für Forschung, Erwerb der Gerechtsame, Schürfung, Bohren bis zum Gewinnen des Rohöls erheblich mehr Kapital aufgewendet als jemals durch den Verkauf des gewonnenen Öls erzielt werden kann. Steckten trotzdem ungezählte Einzelpersonen und fast ebenso zahllose kleine Gesellschaften immer wieder und wieder ihr Geld in das Bohren auf Erdöl, so geschehe dies infolge des den Menschen innewohnenden Spieltriebes, der sie veranlasse, ihr Geld bei irgendeinem wildcatting[3])-Unternehmen aufs Spiel zu setzen, wenn eine Nachricht durch die Presse geht, irgendwo sei ein neuer „Oilpool" entdeckt worden, und ein Riesengusher habe über Nacht einen armen Teufel zum reichen Manne gemacht. Günstiger liegen natürlich die Umstände in den andern Zweigen der Industrie: der Verarbeitung, der Beförderung, dem Absatz an die Verbraucher. Aber auch hier schwanken die Verhältnisse ungemein, und zwar nicht nur von einem Jahr zum andern, sondern auch im Laufe eines Jahres. So z. B. nahm man noch im Frühjahr des vergangenen Jahres an, daß das Benzin das Rückgrat der Industrie sein würde, und bemühte sich deshalb, seine Herstellung unter Herabdrückung der Leuchtölgewinnung nach Möglichkeit zu steigern, um sich aber schon im Sommer überzeugen zu müssen, daß man viel zu viel Benzin habe. Die zweite Hälfte des Jahres sah dann einen katastrophalen Rückgang der Benzinpreise, während die Preise für das mißachtete Leuchtöl recht erheblich anzogen. Die Darstellung solcher Schwankungen im einzelnen, die Behandlung der sich wandelnden Ansichten, bald von drohender Erschöpfung, bald von ungeheuerlichen, unberührten Vorräten in der Erde, der Beweggründe und der Wirkungen des Auf und Ab, des Hin und Her der großen Öltrusts der Welt, der kaleidoskopartige Wechsel der Erdölpolitik der großen Mächte innerhalb der letzten Jahre würde ohne eine eingehende Darlegung nur ein unklares, verwirrendes Bild ergeben, und deshalb will ich mich im nachfolgenden darauf beschränken, darzulegen, was jetzt ist und es — soweit dies möglich — mit dem im Vergleich stellen, was vor 12 bis 13 Jahren war.

Die heutige Bedeutung des Erdöls für die Weltwirtschaft.

Nichts beweist besser die Steigerung der Bedeutung des Erdöls für die Weltwirtschaft seit 1911 als die gewaltige Zunahme der Rohölgewinnung der Welt. Im Jahre 1911 belief sie sich auf 344 174 000 amerik. bbls[4]) = ungefähr 52 950 000 t, 1922 war sie auf 854 800 000 bbls = 131 500 000 t gestiegen und wird für das verflossene Jahr vom geologischen Dienst der Ver. Staaten mit 1 010 995 000 bbls = 155 000 000 t angegeben. Die Zunahme entsprach dem Anwachsen des Verbrauches und diesem die Vermehrung der Bedeutung. Zwar hat der Zeitabschnitt seit 1911 keinerlei wesentliche neuen Verwendungsmöglichkeiten von Erdölerzeugnissen gebracht, wie dies in dem Zeitraum von 1900 bis 1911 der Fall war, wohl aber ist eine gewaltige Steigerung des Verbrauches bei den 1911 noch verhältnismäßig neuen Verwendungszwecken eingetreten, die sich allerdings nicht gleichmäßig auf die verschiedenen Arten von Erzeugnissen verteilt hat; dadurch sind erhebliche Änderungen in den prozentualen Mengenverhältnissen des Verbrauchs der einzelnen Erzeugnisse eingetreten, die durch die Möglichkeit der Verschiebung bei der Gewinnung erleichtert, wenn nicht überhaupt ermöglicht wurden und natürlich die einzelnen Erzeugnisse umwerteten.

Bei der Zunahme der elektrischen Beleuchtung in den Kulturländern ist die Bedeutung des Leuchtöles viel geringer als 1911, in Deutschland wurden z. B. 1911 954 482 t Leuchtöl eingeführt, 1922 nur noch 192 681 t. Haben in unserm Vaterlande allerdings auch noch andere Umstände auf diese Verminderung hingewirkt, so treten diese doch hinter der Ausbreitung der elektrischen Beleuchtung zurück. In großem Maße sind heute nur noch der ferne, sowie der nahe Osten und der europäische Südosten Abnehmer für Leuchtöl. Das in Niederländisch- und Britisch-Indien sowie in Persien gewonnene Leuchtöl wird fast ausschließlich im Erzeugungslande oder in den benachbarten

[1]) Eine amerikanische sogen. Winchester-Gallone = 3,7853 l.

[2]) Die Zusammenzählung dieser Mengen ergibt nur 6 078 999 835 Gall. gegenüber der vorher angegebenen Zahl von 6 202 234 613 Gall.; der Unterschied von 123 234 778 Gall. dürfte auf die Einfuhr von Benzin aus Mexiko zurückzuführen sein.

[3]) „Wildcatting" nennt man das Bohren auf das Geratewohl, womöglich in der Nähe von bereits erschlossenen guten Bohrungen, aber auch sonst irgendwo, wo es dem „wildcatter" gerade gut dünkt.

[4]) 1 amerik. Barrel = 159 Liter. Bei überschläglichen Umrechnungen kann man 6,5 bbls. Rohöl = 1 Tonne rechnen.

Teilen Asiens abgesetzt; aus dem Hauptausfuhrlande von Leuchtöl, den Vereinigten Staaten, gingen 1922 nach einem Bericht des Department of Commerce von 21 195 000 bbls ausgeführter Menge allein 8 133 000 bbls oder 38,3 vH nach den verschiedenen asiatischen Ländern und nach Australien. Nun sucht man zwar durch Umstellung der Verarbeitung die Leuchtölfraktion des Rohöldestillates nach Möglichkeit zu vermindern, aber diesem Bemühen sind sowohl technische als auch wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Deshalb sucht man in den Ver. Staaten die Verwendung des Leuchtöles zum Heizen von Wohnräumen durch die verschiedensten Maßnahmen der Erdöl- und Petroleumofenindustrie zu steigern. Auch für Deutschland wäre der Petroleumofen ein empfehlenswerter Notbehelf für die vielen eingestellten Sammelheizungen, wenn wir nicht gezwungen wären, den Heizstoff einzuführen. Daß man bemüht ist, Leuchtöl auch als Treibstoff in größerem Umfang als bisher zu verwenden, ist bekannt, die Bemühungen in dieser Richtung dürften auch nicht aussichtslos sein; jedenfalls hat eine derartige Verwendung in der amerikanischen Landwirtschaft bereits einen Umfang angenommen, der groß genug ist, um in gewissen Jahreszeiten auf die Preise einzuwirken. In den stillen Monaten der Farmarbeit neigen die Leuchtölpreise zur Abschwächung. Für die Techniker aller Länder wäre die Ermöglichung einer besseren Ausnützung der Leuchtölfraktion eine dankbare und vielversprechende Aufgabe.

In einer technischen Zeitschrift die seit 1911 geradezu ungeheuerlich gewachsene Bedeutung des B e n z i n s eingehend zu behandeln, hieße Eulen nach Athen tragen. Einzelnes darüber habe ich schon bei der Besprechung der Fortschritte der Verarbeitung gesagt, und nur wenig ist hinzuzufügen. Die Anzahl der Kraftfahrzeuge in der Welt nimmt unaufhörlich zu. Fast unglaublich ist diese Zunahme in den Ver. Staaten. Belief sich die Anzahl 1922 noch auf 12 357 376, so ist sie nach der Statistik der National Automobile Chamber of Commerce im verflossenen Jahr um 4 014 000 gegen eine Zunahme von nur 2 659 065 im Jahre 1922 gestiegen; somit betrüge die Gesamtanzahl jetzt nahezu 16,5 Millionen, was noch vor nicht allzu langer Zeit in den Ver. Staaten als Sättigungszahl angesehen wurde! Man vernahm sogar, H. Ford beginne einzelne seiner Fabriken auf Reparaturwerkstätten größten Stiles umzustellen. Das hat sich nun scheinbar wieder geändert, denn wie das Wall Street Journal berichtet, hat Ford im Jahre 1923 täglich 3000 Kraftwagen hergestellt und sich nunmehr für das Jahr 1924 auf eine tägliche Herstellung von 10 000 Kraftfahrzeugen eingerichtet! Werden die recht behalten, die erklärten, der Sättigungspunkt werde erst mit 25 Millionen Kraftwagen erreicht sein? Da liegt die Frage nahe, wo das nötige Benzin herkommen soll, denn in den Ver. Staaten verwendet man bisher ausschließlich „G a s o l i n e“, d. h. Benzin, und zwar schlechteres als das in Europa verwendete, für die Kraftwagen. Nun, zunächst wird man die infolge der übermäßigen Herstellung von Benzin am Schlusse des Jahres 1923 vorhandenen Vorräte, die auf ungefähr 1 Milliarde Gall. = 23,8 Millionen bbls geschätzt werden, neben der laufenden Gewinnung verbrauchen. Aber dann? Im folgenden Abschnitt werde ich darzulegen haben, daß eine Rekordgewinnung von Rohöl wie in diesem Jahr in den Ver. Staaten für das nächste Jahr nicht erwartet wird und daß man vielfach sogar auf einen nicht unerheblichen Rückgang rechnet. Die gestellte Frage bleibt also zunächst unbeantwortet. Nun vermehrt sich aber nicht nur die Anzahl der Kraftwagen in den Ver. Staaten, sondern ihre Verwendung wird auch intensiver. Nach den früheren Statistiken rechnete man mit einem jährlichen Verbrauch von 400 Gall. je Kraftwagen. Doherty erklärt in seinem bereits von mir angezogenen Vortrage, diese Menge sei sicherlich zu gering; Füllstationen an belebteren Strecken gäben sie mit 500 bis 560 Gall. an, er glaube, daß 500 Gallonen die gegenwärtig zutreffende Zahl sei; demnach würden in den Ver. Staaten im laufenden Jahre 196 Millionen bbls Benzin allein vom Kraftwagenverkehr verbraucht werden[1]). In dem bei ihnen gewohnten Optimismus machen sich die Amerikaner vorläufig noch keine Sorge um die Beschaffung des notwendigen Benzins, und Europa braucht dies noch weniger, wenigstens in Friedenszeiten, denn verglichen mit der Anzahl der Kraftwagen in den Ver. Staaten ist ihre Anzahl in Europa verhältnismäßig gering (am 31. Dezember 1922 1 159 000 Kraftwagen) und ihr Bedarf kann aus Niederländisch-Indien, Persien, Rumänien, Galizien und nun auch schon wieder aus Rußland gedeckt werden. Bei dem übergroßen Eigenverbrauch der Ver. Staaten haben diese kein sonderliches Interesse an der Benzinausfuhr nach Europa (die gesamte Benzinausfuhr der Ver. Staaten betrug 1923 nur ungefähr 10 vH der Benzinerzeugung), zumal, wie bereits gesagt, hier ein wesentlich besseres Benzin als das in Amerika vertriebene, verlangt wird. Im Vergleiche mit den amerikanischen Kraftwagenzahlen mögen hier noch die der wichtigsten Länder angegeben werden; dabei zeigt sich, wie bescheiden der Platz Deutschlands geworden ist.

Am 1. Januar 1923 eingetragene Kraftwagen:

Kanada	509 667
Großbritannien	498 271
Frankreich	295 876
Deutschland	153 522[2])
Italien	53 600
Belgien	36 000

Es erscheint fast unnötig, darauf einzugehen, welche Möglichkeiten der Steigerung des Kraftwagenverkehrs für Europa im allgemeinen und für Deutschland insonderheit gegeben sind, auch wenn die Verhältnisse dafür in allen Beziehungen, abgesehen von der Güte der Straßennetze, ungünstiger liegen als in den Ver. Staaten; jedenfalls stellt die so wünschenswerte Ausbreitung des Kraftwagenverkehrs dem Techniker ein neues, ausgedehntes und sicherlich fruchtbringendes Arbeitsfeld zur Verfügung.

Bei der wirtschaftlichen und politischen Bedeutung des Benzins als Treibstoff sind zwei Wünsche verständlich, nämlich erstens: einen Treibstoff zu haben, der billiger ist als Benzin, und zweitens: das Benzin in Ländern, die über keine eigenen Erdölvorkommen verfügen, durch Treibstoffe zu ersetzen, die im Inlande gewonnen werden können, sei es, um aus wirtschaftlichen Gründen der Einfuhrnotwendigkeit zu entgehen, sei es, um auch in Kriegszeiten über entsprechende Mengen an Treibstoffen zu verfügen, besser gesagt, um auch im Falle mangelnder Zufuhrbeherrschung einen großen Krieg führen zu können, zu Lande, zu Wasser, in der Luft. Was das Benzin im letzten Kriege bedeutet hat, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt dürfte eine Note Clemenceaus vom 17. Dezember 1917 an den Präsidenten Wilson sein, in der folgendes zu lesen ist, und die in England zur Veröffentlichung gelangte:

„Das französische Heer darf nicht einen einzigen Augenblick einer Knappheit an dem notwendigen Benzin für seine Lastkraftwagen, Flugzeuge und für den Transport seiner Artillerie ausgesetzt werden. Ein Zusammenbruch der Benzinversorgung würde die sofortige Lähmung unserer Heere verursachen und könnte uns zum Abschluß eines für die Verbündeten ungünstigen Friedens zwingen. Die oberste Heeresleitung berechnet den notwendigen Mindestvorrat der französischen Heere an Benzin auf 44 000 t, den monatlichen Verbrauch auf 30 000 t. Die Sicherheit der verbündeten Nationen steht auf dem Spiele. Wenn die Verbündeten den Krieg nicht zu verlieren wünschen, dann müssen sie dafür sorgen, daß Frankreich im Augenblicke der großen deutschen Offensive keinen Mangel an Benzin leide, welches in den kommenden Schlachten ebenso nötig ist wie Blut.“

Über die Versuche, E r s a t z s t o f f e für das Benzin zu finden und deren bisherige Ergebnisse wird im letzten Abschnitt zu sprechen sein.

Das G a s ö l, d. i. die zwischen dem Leuchtöl und den als Heizöl verwendeten Destillationsrückständen liegende Fraktion, war seinerzeit ein wenig wertvolles Erzeugnis. Seitdem die Ölgasgewinnung für Beleuchtungszwecke durch die elektrische Beleuchtung verdrängt worden war, diente es hauptsächlich nur noch zur Anreicherung des Steinkohlengases und hat erst durch seine besondere Eignung für die Verbrennung im Dieselmotor Bedeutung und durch dessen große Verbreitung in Industrie und Schiffahrt höheren Wert erlangt. Es erübigt sich, im Rahmen dieses Aufsatzes auf die Vorteile des Dieselmotors gegenüber der Dampfmaschine einzugehen, da sie dem Techniker voll bekannt sind. Über die gegenwärtige Zahl der Dieselmotoren und den

[1]) Bei grober Durchschnittsrechnung nimmt man in den Ver. Staaten nach „The Lamp“, der Zeitschrift der Standard Oil Co. of N. J., eine Benzinausbeute von 27 vH des verarbeiteten Rohöles an, somit müßten allein behufs Herstellung des Benzins für 14,5 Millionen Kraftwagen, bei 500 Gall. je Wagen, ungefähr 640 Mill. bbls Rohöl verarbeitet werden, was der gesamten jährlichen Leistungsfähigkeit der Raffinerien, die mit 2 Mill. bbls am Tag angenommen wird, entsprechen würde. Aus der 1923 in den Ver. Staaten gewonnenen und eingeführten Rohölmenge hätte man etwa 223 Millionen bbls Benzin herstellen können. Die englische Zeitung „Financial Times“ vom 29. Januar 1924 gibt ohne Quellenangabe etwas andere Zahlen, die jedoch zu denselben Schlüssen führen. Demnach betrug die g e s c h ä t z t e Z a h l von Kraftwagen in den Ver. Staaten Ende des vergangenen Jahres 13 857 942, für Ende d. J. wird sie mit 15 658 000 angegeben. Der Benzinverbrauch wird auf 484 Gall. je Kraftwagen geschätzt und hierauf berechnet, daß, um das notwendige Benzin zu liefern, eine jährliche Förderung in den Ver. Staaten von 812 500 000 bbls erforderlich wäre, während, falls nicht unerwartete weite neue Felder hinzukommen, die Förderung des laufenden Jahres auf nur 657 000 000 bbls geschätzt wird. Die Deckung des Fehlbetrages wird von Mexiko her erwartet, wo 1923 rd. 150 000 000 bbls gewonnen wurden.

[2]) am 1. Juli 1923.

Verbrauch von Dieselöl in der Welt vermag ich keine Angaben zu machen, auch über die Menge des gewonnenen Gasöles liegen keine Zahlen vor, denn in den meisten, vor allem den amerikanischen Statistiken, wird keine Trennung zwischen Heiz- und Gasöl vorgenommen. Es kann eben jedes Gasöl auch als Heizöl verwendet werden, allerdings nicht umgekehrt, und es hängt jeweilig nur von der Marktlage ab, ob es sich verlohnt, die verhältnismäßig geringe Gasölfraktion bei der Destillation gesondert aufzufangen oder sie einfach in das Heizöl laufen zu lassen.

Über das Eindringen des Dieselmotors in die Weltschiffahrt stehen Zahlen zur Verfügung. Nach den Veröffentlichungen von Lloyds Register zählte die Welthandelsflotte 1914 290 Motorschiffe mit 234 000 B.-R.-T., 1921 1447 Motorschiffe mit 1 263 000 B.-R.-T. und 1922 1639 Motorschiffe mit 1 511 000 B.-R.-T., und diese Anzahl nimmt weiter zu, trotz des großen allgemeinen Rückganges der Schiffbautätigkeit. Bezeichnend ist, daß nach einer Mitteilung des Wirtschaftsdienstes in der Welt im Bau waren:

	Dezember 1922		Dezember 1923	
	Zahl	Rauminhalt in 1000 B.-R.-T.	Zahl	Rauminhalt in 1000 B.-R.-T.
Dampfer	625	2640,6	568	1793,6
Motorschiffe	107	288,1	151	634,0
Segler	83	25,7	40	16,7

Somit Abnahme des B.-R.-T.-Gehaltes der im Bau befindlichen Dampfer um 32 vH, dagegen Zunahme des Motorschiffsraumes um 120 vH! Besonders bemerkenswert ist die starke Zunahme des Baues von Erdöltankschiffen als Motorschiffe. Die Vermehrung der Motorschiffe würde noch schneller vor sich gehen, wenn schon längere Erfahrungen über die Lebensdauer von Schiffsdieselmotoren vorlägen, denn dieser Mangel hält, Nachrichten aus britischer Quelle zufolge, die Trampschiffahrt noch zurück, sich in vermehrtem Maße dem Motorschiff zuzuwenden, dessen Betrieb ungeachtet der höheren Baukosten sich wesentlich billiger stellt als der des gleich tragfähigen und gleich schnellen Dampfers. In dem Januarbericht einer der bedeutendsten englischen Schiffsmaklerfirmen ist z. B. zu lesen, daß bei Zeitchartern für Tankschiffe auf 10 bis 12 Monate nur 5 sh 6 p bis 6 sh 3 p für 1 t Tragfähigkeit zu erzielen sind, während mit Tankdieselschiffen vertraute Charterer bereit sind, unter den gleichen Umständen 8 sh für 1 t Tragfähigkeit anzulegen.

Wie wichtig die Frage der Einführung des Motorschiffes in die neue deutsche Handelsflotte ist, liegt auf der Hand, denn ihre Wettbewerbfähigkeit wird dadurch erheblich gestärkt, zumal sie, da es sich um einen Neuaufbau handelt, nicht die Abschreibungen vorzunehmen oder die Umbaukosten zu tragen hat, die in andern Flotten beim Ersatz eines Dampfers durch ein Motorschiff notwendig sind. Alles in allem darf gesagt werden, daß der Verbrauch und die wirtschaftliche Bedeutung der Gasölfraktion als Dieselöl unausgesetzt zunehmen wird, ohne daß jedoch ein künftiger Mangel an solchem eintreten dürfte, weil ein Ersatz für Dieselöl aus anderen Quellen verhältnismäßig leicht zu beschaffen ist und Dieselöl bei entsprechenden Preisen auch ohne Steigerung der Rohölförderung ohne Schwierigkeit vermehrt gewonnen werden könnte.

Als Heizöl werden die nach Abtreibung des Gasöles verbleibenden Destillationsrückstände verwendet, insofern sie nicht als Rohstoff für die Schmierölgewinnung dienen. Diese Verwendung ist nicht neu, auch nicht im Großbetriebe, denn schon in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat man in den Ver. Staaten, in Rußland, in Rumänien begonnen, die Ölfeuerung in Lokomotiven und unter Schiffskesseln anzuwenden. In neuerer Zeit hat sich die Ölheizung in einem alle Erwartungen übersteigenden Umfang verbreitet, und zwar nicht nur in der Schiffahrt und dem Eisenbahnwesen, sondern auch in Kraftanlagen, Wasserversorgungen u. a., in der Industrie, der Beheizung von Wohnräumen usw., mit einem Wort auf allen Gebieten, wo die technische Überlegenheit des Öles über die Kohle zur Auswirkung kommen konnte, insoweit wirtschaftliche Rücksichten, namentlich die Preisfrage, dem nicht entgegenstanden. Es fehlt an Raum, um an dieser Stelle in eine Besprechung einzutreten, bei welchem Verhältnis des Kohlenpreises zum Ölpreise der Übergang von der Kohlen- zur Ölfeuerung gerechtfertigt ist, zumal für eine solche Entscheidung noch eine größere Anzahl anderer Einflüsse in Betracht kommt, wie ich dies in einem am 19. November 1921 in der Hauptversammlung der Brennkrafttechnischen Gesellschaft gehaltenen Vortrage näher ausgeführt habe. Manches hat sich ja seitdem geändert; auf die Erdölknappheit des Jahres 1920/21 ist eine Zeit des Erdölüberflusses gefolgt, der gerade jetzt wieder in das Gegenteil umzuschlagen droht. Immerhin bleiben die grundlegenden Beweggründe für den Übergang von der Kohlen- zur Ölfeuerung unverändert. Vor allem muß aber beachtet werden, daß das Heizöl einen Sonderheizstoff darstellt, der im allgemeinen auf Sondergebiete beschränkt bleibt. Mögen diese Sondergebiete auch noch so zahlreich und ausgedehnt sein, es wird und muß zwischen ihnen und den großen Gebieten der Kohlenfeuerung notwendigerweise stets ein gewaltiger Abstand bleiben, schon aus dem einfachen Grunde, weil die Ölförderung der Welt, der Menge nach, derartig hinter der Kohlenförderung zurücksteht, daß an allgemeine Ablösung dieser durch jene nicht zu denken ist, nicht einmal, wenn es späteren Geschlechtern gelingen sollte, die gesamte geförderte Kohlenmenge zu verflüssigen. Die Erdölförderung der Welt belief sich im vergangenen Jahr auf 1 010 995 000 bbls = 155 000 000 t, woraus etwa 72 Millionen t Heizöl, dem Heizwerte nach einer Menge von 113 Millionen t Kohlen entsprechend, hergestellt werden könnten. Das ist wenig, wenn man bedenkt, daß 1922 rd. 1 300 000 000 t Kohlen in der Welt gefördert wurden. Zu beachten ist ferner, daß während die Erschöpfung der greifbaren Kohlenvorräte der Erde schätzungsweise erst nach Hunderten von Jahren erwartet wird, man bei der Schätzung der möglichen Erschöpfung der Erdölförderung der Welt gewohnt ist, nur von Jahrzehnten zu sprechen.

Bezeichnend für den Einfluß, den die jeweilige und besondere wirtschaftliche Lage auf Umstellungen von Kohle auf Öl und umgekehrt hat, ist das, was sich in der Nachkriegszeit in Rumänien zuträgt. Dies Land gehörte zu den Ländern, welche die Ölfeuerung schon im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts nicht nur für fast den gesamten Lokomotivpark und die staatliche Seeschiffahrt, sondern auch in den meisten industriellen Betrieben, den Sammelheizungen usw. eingeführt hatten, weil der Waldbestand allmählich verwüstet worden war und die Kohlen aus dem Ausland eingeführt werden mußten, während das Erdöl im Inlande gewonnen wurde; außerdem war dessen Absatz schwierig und die Preise schlecht. Nach dem Kriege haben sich die Verhältnisse geändert, die Erdölförderung ist von 1,885 Millionen t auf 1,3 Millionen t zurückgegangen, das Land ist dreimal größer geworden, hat Kohlenlager, wenn auch nicht sehr bedeutende, erhalten, und der Bedarf der Industrie und Schiffahrt an Heizöl ist gewachsen. Aus allen diesen Gründen geht nun die staatliche Eisenbahnverwaltung dazu über, eine größere Anzahl ihrer Lokomotiven wieder auf Kohlenfeuerung umzustellen.

Am größten ist im Verlaufe der letzten 12 Jahre die Zunahme des Heizölverbrauches in der Schiffahrt gewesen. Im Jahre 1914 gab es in der Weltflotte nur 364 ölbefeuerte Schiffe mit einer Räumte von 1 310 209 B.-R.-T.; 1922 beliefen sich diese Zahlen auf 3110 bzw. 15 004 548, während von 1914 bis 1922 der Gesamttonnengehalt der Weltschiffahrt (ohne Segelschiffe) nur von 45 403 877 auf 61 342 952 B.-R.-T gestiegen war. Schwierig ist es, Angaben über den Heizölverbrauch der Eisenbahnen und der Industrie in der Welt zu beschaffen. Für die Ver. Staaten sind vom Amerikanischen Petroleum-Institut folgende Zahlen für das Jahr 1922 veröffentlicht worden, wonach die Handelsschiffahrt 51 996 000 bbls und die Eisenbahnen 44 752 344 bbls verbraucht hätten; dazu käme dann noch der große Verbrauch der Industrie, der Elektrizitätswerke, der Sammelheizungen usw., so daß sich der Gesamtverbrauch der Ver. Staaten an Gas- und Heizöl 1922 auf 255 542 000 bbls stellt, wovon vielleicht 8 bis 10 vH auf Gasöl entfallen. So groß nun auch die Heizölfraktion im Vergleich zu den Mengen der übrigen Erdölerzeugnisse ist, so darf doch nicht angenommen werden, daß die Wirtschaft dadurch gegen eine Heizölknappheit gesichert wäre. In dem bereits erwähnten Vortrage mußte ich über die große Heizölknappheit, die in den Ver. Staaten 1920 geherrscht hatte, trotz der damaligen die Zahlen aller Vorjahre übersteigenden Förderung von 444 804 000 bbls sprechen. Die Knappheit zeitigte die allerbedenklichsten Folgen. In Kalifornien wurde monatelang die gesamte Heizöllieferung an Schiffahrt und Industrie eingestellt, ein schwerer Schlag, da es westlich der Rocky Mountains keine Kohlenlager gibt. In den Häfen der Ostküste konnten ölbefeuerte Schiffe wochenlang nicht auslaufen, den Panamakanal mußten einzelne Schiffe mit Leuchtöl statt mit Heizöl durchfahren, da die Vorräte der Heizöl-Bunkerstationen an der Kanalmündung erschöpft waren. Die Wiederkehr einer solchen Lage ist nicht ausgeschlossen, da jedoch die Herstellung von Heizöl in einem ziemlich festen Verhältnis zu der des Benzins steht und der Benzinverbrauch erheblich schneller als der Verbrauch des Heizöles zunimmt, so sind die Aussichten für den Heizölverbraucher noch verhältnismäßig günstig. Anfang Dezember 1923 war in den Ver. Staaten ein Vorrat von 1 499 925 521 Gall. = 35 712 500 bbls oder ungefähr 5 494 000 t

Heiz- und Gasöl vorhanden, wobei es bezeichnend ist, daß trotz dieses Überschusses die Preise für Bunkeröl dem Preisrückgange der übrigen Erdölerzeugnisse nur in geringem Maße folgten. Der Höchstpreis des vergangenen Jahres betrug 1,70 $ je bl, der Niedrigstpreis 1,35 $. Die Festigkeit dieses Preises läßt sich nur dadurch erklären, daß bei der überragenden Stellung der amerikanischen Heizölerzeugung diese den Preis für die sämtlichen Ölbunkerstationen der Welt bestimmt, was nicht verwunderlich wäre. Daß im Falle von Kohlenstreiks das Heizöl in den betroffenen Ländern einem Teil der Industrie über die größten Schwierigkeiten hinweggeholfen hat, ist bekannt, daß dies aber nur in beschränktem Umfang und auf kurze Zeit geschehen kann, ergibt sich aus dem vor mir Dargelegten. Schließlich darf noch gesagt werden, daß eines der Hindernisse, das der Verbreitung der Ölfeuerung in der Industrie und bei den so zahlreichen Sammelheizungen der Ver. Staaten im Wege steht, in der Unsicherheit der Preislage und der Schwierigkeit, große Lieferverträge auf längere Zeit abzuschließen, zu finden ist; trotzdem ist die Erdölindustrie der Ver. Staaten unausgesetzt bemüht, den Verbrauch von Heizöl im Binnenlande weiter zu steigern und dies nicht ohne Erfolg. Sie muß dies, weil die Menge des gewonnenen Heizöles von der des gewonnenen Benzins abhängt und diese aus den behandelten Gründen in unaufhörlichem Steigen begriffen ist.

Ist die Verfügung über genügende Mengen von Heizöl in Friedenszeiten eine Frage größerer oder geringerer Wirtschaftlichkeit für den Verbraucher, so ist sie in einem Seekriege zwischen sonst zur See gleich starken Mächten von entscheidender Wichtigkeit, seitdem die Kohlenfeuerung aus der Kriegsflotte völlig verschwunden ist. Die stärkste Flotte der Welt wäre zu vollkommener Untätigkeit verdammt, wenn sie nicht über entsprechende Vorräte von Heizöl verfügt. Der Raum gestattet mir nicht, auf die vielen Vorteile einzugehen, die der Heizölfeuerung gerade für Kriegsschiffe zukommen, wohl aber möchte ich auf die Mengen hinweisen, um die es sich dabei handelt, und welche Vorräte ein des Erdöls entbehrendes Land im Frieden halten müßte, um auch nur für einen Krieg von einjähriger Dauer gesichert zu sein.

Ein kürzlich in London erschienenes Buch „The Oil Trusts and Anglo-American Relations" von E. H. Davenport und Sidney Russel Cooke, gibt in dieser Beziehung gewisse Aufklärungen, die aus guter Quelle zu stammen scheinen. Demnach waren bei Kriegsausbruch nur 45 vH der englischen Flotte für Ölfeuerung eingerichtet, der Rest wurde während des Krieges umgestellt oder entsprechend neu gebaut. Dadurch war der monatliche Heizölverbrauch nur der englischen Kriegsflotte von 130 000 t auf 330 000 t gestiegen. Da 1917 die deutschen U-Boote nach den Angaben des genannten Buches im Durchschnitt täglich ein Tankschiff versenkten, war die Lage der Flotte so bedenklich geworden, daß sie ihre Bewegungen einschränken mußte. Die Admiralität berechnete sogar, daß bei andauerndem, gleichem Verlust von Tankschiffen die Flotte im Dezember 1917 ohne Heizöl sein würde, was zur Kapitulation der Verbündeten führen müsse. Dann setzten aber die großen amerikanischen Heizöllieferungen ein, welche die Lage erheblich verbesserten. Hatten im Juni 1917 die Vorräte 950 000 t bei einem monatlichen Verbrauche von 400 000 t betragen, so beliefen sie sich im April 1918 auf 1,5 Millionen und Ende Oktober 1918 auf 1,8 Mill. t, bei einem Monatsverbrauche von 460 000 bzw. 500 000 t. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß bei behinderter Zufuhr eine Flotte von nur halber Größe der britischen für einen auch nur ein Jahr dauernden Seekrieg über einen Vorrat von 3 Mill. t Heizöl nebst den notwendigen Vorraträumen verfügen muß. Das wäre leicht für die Ver. Staaten, schwerer schon für Großbritannien und eine gewaltige Last für Japan, Frankreich und Italien. Aber selbst für das seebeherrschende Großbritannien wäre die Lage nicht unbedenklich, denn ohne die Hilfe der amerikanischen Tankflotte hätte es niemals die 5 bis 6 Millionen t Heizöl heranschaffen können, die es von Mitte 1917 bis Mitte 1918 verbraucht hat. Ein Hinblick hierauf läßt die U-Bootgefahr im hellsten Licht erscheinen.

Über Schmieröl und die übrigen Erdölerzeugnisse wie Paraffin, Vaselin, Asphalt, Petroleumpech u. a. ist nur wenig zu sagen. Die Schmierölherstellung ist dem sich unausgesetzt vermehrenden Bedarf, zu dem in der Nachkriegszeit das Kraftwagenwesen nicht wenig beigetragen hat, entsprechend gefolgt und hat ihn in den letzten Jahren, als infolge der Weltwirtschaftskrisis die amerikanische Ausfuhr an Schmierölen zurückging, sogar überstiegen, so daß Ende 1923 in den Vereinigten Staaten, die bis zur vollen Wiederherstellung der russischen Erdölindustrie ganz besonders für die Schmierölversorgung in Betracht kommen, ein Vorrat von 231 335 328 Gall. = 5 507 983 bbls Schmieröl vorhanden war. Die Schmierölindustrie der Ver. Staaten fühlt sich in der gegenwärtigen Lage nicht besonders glücklich und sucht diese dadurch zu verbessern, daß sie auf eine energische Verminderung der zu zahlreichen Sorten und Marken hinwirkt. Ein Erfolg in dieser Richtung läge sicherlich auch im Interesse der Verbraucher; im beiderseitigen Interesse würde es auch sein, wenn die Letztgenannten sich daran gewöhnen könnten, geringere Ansprüche bezüglich gewisser Eigenschaften des Schmieröles, wie z. B. bezüglich der Farbe, zu stellen, die in sich selbst keinerlei Bedeutung für dessen Verwendbarkeit hat.

Was das Paraffin betrifft, so hat seine Verwendung für die verschiedensten Zwecke derartig zugenommen, daß gegenwärtig eine Paraffinknappheit besteht, trotz der großen geförderten Erdölmengen und obgleich, wie in dem letzten Abschnitt zu zeigen sein wird, neue Quellen der Gewinnung von Paraffin in nicht unerheblichen Mengen erschlossen worden sind.

Die Gewinnung des Rohöls.

Über die technischen und wissenschaftlichen Fortschritte bei der Gewinnung des Erdöls seit dem Jahre 1911 ist nicht viel zu sagen. Der wichtigste technische Fortschritt ist die Gewinnung durch Schacht- und Stollenbau, wie dies als erste die Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft zunächst während des Krieges in Pechelbronn mit 4 Schächten, dann in Wietze mit 2 Schächten, und zwar mit vollem Erfolg, unternommen hat. Durch dieses Verfahren, dessen technische Schwierigkeiten allerdings nicht unerheblich sind, und zu deren Bewältigung bedeutende Erfahrungen notwendig sind, kann der allergrößte Teil des Erdöles gewonnen werden, das nach Erschöpfung eines Öllagers durch Bohrungen noch in ihm verblieben ist. Wie groß diese Menge ist, hängt von den mannigfachsten Umständen, von der Porosität des Gebirges, dem Gasdruck, der Viskosität des Öles u. a. ab. Von einzelnen Fachleuten wird sie in gewissen Fällen bis auf 90 vH der ursprünglichen Menge geschätzt, was allerdings ein wenig hoch gegriffen erscheint. Jedenfalls steht dem Schachtbau bei der Ölgewinnung eine große Zukunft bevor, wenn die Erschöpfung einst reicher Ölfelder bei gleichzeitigem starken Rückgang der jetzt so ergiebigen weiter fortschreitet, wobei zu beachten ist, daß nach den Angaben Dohertys in dem mehrfach erwähnten Vortrag von den 285 000 Bohrlöchern der Ver. Staaten nicht weniger als 260 000 bei den Septemberpreisen des vergangenen Jahres mit Verlust ausgebeutet werden, und daß 50 vH der Gesamtjahresförderung der Ver. Staaten auf nur 1½ vH der Bohrlöcher entfallen. Somit dürfte bei einem weiteren Rückgang der reichen Bohrlöcher für ausgedehnte Gebiete der Schachtbau sehr in Frage kommen.

Was die Bohrtechnik selbst betrifft, so wird das Schlagbohren nach den verschiedenen Verfahren mehr und mehr durch das Drehbohren (rotary) mit Dickspülung verdrängt, wodurch die zum Niederbringen eines Bohrloches erforderliche Zeit ganz erheblich verkürzt wird. Auch das Kernbohren findet allmählich mehr Eingang in das Bohren auf Erdöl, wodurch dem Geologen bessere Grundlagen für seine Beurteilung der Schichtenverhältnisse geliefert werden. Ferner haben sich die Verfahren zur Absperrung der über dem Ölhorizont liegenden, durchteuften Wasserschichten wesentlich verbessert. Das Kreisellot, eine deutsche Erfindung, wird verwendet, um Abweichungen des Bohrloches von der Senkrechten festzustellen, über die man bis dahin gänzlich im unklaren war, trotz der Wichtigkeit dieser Frage. Schließlich geben chemische Untersuchungen der angetroffenen Öl- und Wasserschichten dem Geologen wertvolle Fingerzeige für das Ansetzen der einzelnen Bohrungen, namentlich in bereits erschlossenen Gebieten, in denen sich demgemäß die Anzahl der Fehlbohrungen entsprechend vermindert hat. Daß die Elektrizität als Triebkraft in großem Maß in den Bohrbetrieb eindringen mußte, ist wohl verständlich, ebenso wie der Ersatz des unter den Kesseln verbrannten Rohöles durch die dem Bohrloch entströmenden Gase. Man hat eben notgedrungen einsehen müssen, daß auch im Bohrbetrieb größte Sparsamkeit walten muß. — Die neuesten physikalischen usw. Verfahren zur Auffindung unterirdischer Lagerstätten eröffnen der Erdölforschung vorläufig noch keine Aussichten; daß das Rutengehen versagen mußte, versteht sich wohl von selbst.

So haben denn die Fortschritte der Technik und Wissenschaft seit Oebbekes Zeiten manches Wagnis des praktischen Bohrbetriebes vermindert; aber ein wagnisreiches Unternehmen bleibt das Bohren auf Erdöl auch heute, und seine Praxis verlangt von dem Techniker, der sich ihm widmen will, nicht nur

sehr gründliche wissenschaftliche und technische Kenntnisse, sondern auch eine tüchtige Praxis, Furchtlosigkeit gegenüber manchen Gefahren, gepaart mit Überlegung und Entschlußfähigkeit. Dafür hat aber gerade das Bohren auf Erdöl den Reiz, den nun einmal das Glückspiel für den Menschen hat, und deshalb kommt schwer vom Erdöl los, wer sich ihm einmal ergab.

War nun, abgesehen von der Einführung des bergmännischen Betriebes durch Schachtbau, kein umstürzender Fortschritt in der Gewinnung des Erdöls festzustellen, so haben sich in der Förderung große Umwälzungen vollzogen, und sie hat außerdem derartig zugenommen, daß die Ergebnisse der Jahre 1922 und 1923 mit denen des Jahres 1911 und der Vorjahre kaum in Vergleich zu stellen sind.

Die Rohölförderung der Welt belief sich 1911 auf 344 174 000 bbls, die sich in folgender Weise auf die Hauptgewinnungsländer verteilten:

Ver. Staaten von Nordamerika	220 449 000	bbls
Rußland	66 184 000	„
Mexiko	12 553 000	„
Niederländ. Indien	12 173 000	„
Galizien	10 519 000	„
Britisch Indien	6 451 000	„
Alle übrigen Länder	15 845 000	„

Die Rohölförderung Deutschlands betrug 1 017 000 bbls oder 137 000 t. Ein ganz anderes Bild geben die Zahlen für die Jahre 1922 und 1923. Die Weltförderung stellte sich auf 854 809 000 bbls im Jahre 1922 und 1 010 995 000 im Jahre 1923 und verteilte sich folgendermaßen auf die einzelnen Länder:

	1922		1923	
Ver. Staaten von Nordamerika	557 531 000	bbls	735 000 000	bbls
Mexiko	182 278 000	„	149 472 000	„
Rußland	32 966 000	„	38 167 000	„
Persien	21 909 000	„	25 000 000	„
Niederländ. Indien	16 720 000	„	15 000 000	„
Rumänien	9 817 000	„	10 850 000	„
Britisch Indien	7 980 000	„	7 575 000	„
Peru	5 332 000	„	6 375 000	„
Galizien	5 110 000	„	5 000 000	„
Alle übrigen Länder	15 166 000	„	18 556 000	„

In Deutschland wurden im Jahre 1922 35 634 t oder rd. 230 000 bbls gefördert. Die Förderung des Jahres 1923 ist auf etwa 41 000 t gestiegen.

Die Weltförderung 1923 hat gegen die von 1922 um 18,3 vH, die der Ver. Staaten um 31,8 vH zugenommen. Die mexikanische Förderung ist um 18 vH zurückgegangen; wider Erwarten hat die Förderungsvermehrung der nördlichen Felder den bekannten durch Salzwassereinbrüche verursachten starken Rückgang in den südlichen Feldern einigermaßen ausgeglichen.

So hat sich denn die Rohölförderung der Welt von 1911 bis 1923 von 344 174 000 bbls auf 1 010 995 000 bbls oder um fast 194 vH vermehrt. Aber noch viel größere Verschiebungen zeigen sich für die einzelnen Gewinnungsgebiete. In den Ver. Staaten gewann man 1911 220 449 000 bbls, der Anteil an der Weltförderung betrug 64 vH; im Jahre 1923 hatte sich die Förderung auf das 3½fache vermehrt, wobei der prozentuale Anteil an der Weltförderung auf 72,7 vH gestiegen ist. Im Jahre 1922 war der Anteil der Ver. Staaten an der Weltförderung 65 vH, also nur 1 vH mehr als 1922, was sich durch die gewaltige Zunahme der mexikanischen Förderung erklärt. Zum erstenmal erscheint Mexiko in den Statistiken der Erdöl fördernden Länder 1901, und zwar mit nur 10 345 bbls, zehn Jahre später war die Förderung auf 12 552 798 bbls gestiegen, elf weitere Jahre später waren dies 182 278 000 bbls oder über 21 vH der Weltförderung geworden. Zusammen lieferten die Ver. Staaten und Mexiko 1922 87 vH der Erdölgewinnung der Welt, 1923 87,4 vH. Wie gering erscheinen demgegenüber die Förderungszahlen aller übrigen Länder, deren Gesamtrohölgewinnung von der der Ver. Staaten einfach erdrückt werden würde, wenn der eigene Verbrauch dieses Landes nicht so gewaltig wäre, daß es, um seinen Erdöl-Ausfuhrhandel zu erhalten und Raffinerie- und Transportunternehmungen voll zu beschäftigen, große Mengen von Rohöl aus Mexiko einführen mußte (1922: 123 694 000 bbls). Die jährliche Durchschnittszunahme der Rohölgewinnung in den Ver. Staaten wurde kürzlich von der Statistical Association von Washington für die Jahre 1907 bis 1919 mit 7 vH, für die Jahre 1919 bis 1923 mit 16,6 vH angegeben, während sie, wie bereits erwähnt, im letzten Jahre 33 vH betrug.

Nun muß die Frage aufgeworfen werden, ob auf eine ähnliche Zunahme auch weiterhin zu rechnen sein wird, sei es auch nur auf eine solche von 16 bis 17 vH, wie sie unbedingt erforderlich wäre, wenn die Treib- und Heizstoffgewinnung mit dem Verbrauch auch nur in den Ver. Staaten, einigermaßen Schritt halten soll. Diese Frage ist von hervorragenden amerikanischen Sachverständigen bis in die allerletzte Zeit sowohl in bejahendem wie in verneinendem Sinne beantwortet worden, ohne daß jedoch weder von der einen noch von der andern Seite schlüssige Beweise für die einander diametral entgegengesetzten Behauptungen hätten beigebracht werden können. Hervorragende Geologen erklärten seit dem Jahre 1919, daß die Öllager der Ver. Staaten in 16 bis 20 Jahren erschöpft sein werden. Amerika habe bereits 1920 seine Höchstgewinnung an Erdöl erreicht, und nunmehr müsse ein allmählicher Rückgang einsetzen. Andre Fachleute, vor allen Dingen Praktiker, die sich aber auch auf geologische Gutachten stützen, erklären, die Ver. Staaten verfügten noch über ungeheure, nicht angeritzte Vorkommen; jedesmal, wenn man von einer beginnenden oder auch nur drohenden Knappheit gesprochen habe, seien höchst ergiebige neue „pools" erschlossen worden, die jeweils einen neuen Rekord geschaffen hätten. Solches werde auch in der Zukunft geschehen.

Diese Annahme, der zwar eine wissenschaftliche Grundlage fehlt, wird auf Tatsachen und frühere Erfahrungen gestützt, die bis in die allerneueste Zeit reichen. So ist die außergewöhnliche Zunahme des verflossenen Jahres an erster Stelle auf die unerwartete Erschließung der neuen reichen pools in den südlichen kalifornischen Erdölfeldern bei Los Angeles zurückzuführen, durch welche die Förderung Kaliforniens von 139 671 000 bbls 1922 auf 262 600 000 bbls 1923 gestiegen ist. Ähnlich schnelles Ansteigen, wenn auch in geringerem Ausmaße, hat auch in andern Gebieten der Ver. Staaten stattgefunden. Andererseits folgte aber der plötzlichen Ausbeutesteigerung eines Ölgebietes oft ein ebenso schneller Rückgang, wie dies z. B. in Kalifornien der Fall gewesen ist, wo die tägliche Durchschnittsförderung von 515 000 bbls in der ersten Woche 1923 bis zur Woche vom 11. bis 18. August auf die Höchstzahl von 875 000 bbls stieg, um bis zur letzten Jahreswoche auf 720 000 bbls zurückzugehen und seitdem noch weiter zu fallen.

Meines Erachtens ist die Frage, wie lange die Ölvorkommen der Ver. Staaten noch eine große, der jetzigen annähernd entsprechende Förderung haben werden, überhaupt nicht zu beantworten. Bei der Erdölgewinnung liegen die Verhältnisse eben ganz anders als z. B. bei der Kohlenförderung. Für jedes geologisch genügend durchforschte Land ist die Feststellung von Kohlenvorkommen möglich, die als vorhanden festgestellte Kohle ist im allgemeinen auch greifbar und mengenmäßig mit ziemlicher Sicherheit abzuschätzen. Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Erdöl. Die geologische Forschung vermag im allgemeinen nur die Möglichkeit des Vorkommens von Erdöl in einem gewissen Gebiete festzustellen; aber selbst äußere günstige Anzeichen, wie Ausschwitzungen, Erdgasausströmungen, Asphaltausbisse und dergl. lassen noch lange nicht den Schluß zu, daß Erdöl in ausbeutungswürdiger Menge vorhanden ist; erst das Bohren bis in größere Teufen, und zwar nicht nur Einzelbohrungen, sondern nur verhältnismäßig zahlreiche, entsprechend angesetzte können den schlüssigen Nachweis über die Ausbeutungswürdigkeit eines Vorkommens liefern.

Dann aber hängt die Lebensdauer eines Erdölfeldes sehr von besonderen Umständen ab, die bei der Kohlenförderung nicht in Betracht kommen. So z. B. von der Besitzverteilung der Oberfläche und der Organisation des Bohrens. Besteht ein Gebiet aus kleinen Flächenstücken, auf denen verschiedene Unternehmungen intensiv im Wettbewerb arbeiten, um dem Nachbar zuvorzukommen, dann wird der Gasdruck, der das Erdöl zum Bohrloch und aus diesem hinaus treibt, schnell abnehmen, und an die Stelle des Erdöles tritt Wasser, in den Fällen, wo das Erdöl unter hydraulischem Druck steht. Dies war der Fall in den südlichen Feldern Mexikos, und Ähnliches zeigt sich jetzt in Kalifornien. [A 170] (Schluß folgt.)

Neueste Bestrebungen beim Schiffsantrieb durch Dieselmotoren.

Von E. Goos, Hamburg.

Besprochen werden die gegenwärtigen Entwicklungsbestrebungen auf dem Gebiete der Schiffsdieselmotoren — Beispiele und Betriebsergebnisse — Maßnahmen zur Leistungserhöhung sowie zur Verbesserung der Betriebsicherheit und Wirtschaftlichkeit — Hilfsmaschinenantrieb — Heiz- und Triebböle.

Der kurz nach dem Krieg einsetzende und auch noch heute nicht überwundene geschäftliche Niedergang in der Weltschiffahrt lenkte in besonderem Maße die Aufmerksamkeit der Schiffahrtkreise wieder auf die Motorschiffe, die immer noch wirtschaftlich verwendet werden konnten, wenn Dampfschiffe als unrentabel aufgelegt werden mußten.

Auch die Werften, die bisher noch keine Motorschiffe bauten, bringen heute dem Dieselmotor als Propellerantriebsmaschine Interesse entgegen, denn Aufträge auf Schiffsneubauten können nur auf die wirtschaftlich vorteilhaftesten Schiffe erhalten werden.

Obgleich die Vorteile der Motorschiffe nicht so groß sind, wie von manchen Erbauern, insbesondere der Motoren, angegeben wird, und wie ihr Ölverbrauch vermuten lassen sollte. so sind die Motorschiffe doch selbst den besten und neuzeitlichsten Dampfschiffen überlegen, wie die folgende Zusammenstellung, worin die Einwirkung des vergrößerten Laderaums als unerheblich vernachlässigt worden ist, zeigt.

Zahlentafel 1. Vergleich zwischen Motorschiffen und Dampfschiffen.

Schiff	Art	Abmessungen m	Geschwindigkeit Kn	Tragfähigkeit t	Brutto-Laderaum m³	Aktionsradius sm	Maschinenbetriebskosten einschl. Abschr. u. Verzinsung vH
Saarland . . .	Einschraubenschiff mit Triebturbine und Kohlenfeuerung	136,6×17,7×9,0	12,0	9650	13445 einschl. 2480 m³ Reservebunkerraum	6350 ohne Reservebunker	100
Münsterland .	Zweischraubenschiff mit Diesel-Triebmotoren	136,6×17,7×9,0	12,0	10066	14150	27000	76,5
Rheinland . .	Zweischraubenschiff mit direktwirkenden Dieselmotoren . .	136,6×17,7×9,0	12,0	9910	14250	25600	77,5

Die Vergleichzahlen sind neuerer Herkunft; sie stammen von drei Schwesterschiffen und gelten für die Ostasienfahrt. Ein etwas früherer Vergleich von drei Schwesterschiffen ergab, daß sich die reinen Maschinenbetriebskosten von Schiffen mit Kohlenfeuerung (*K*) und Ölfeuerung (*Oe*) und mit Dieselmotorenantrieb (*M*) wie 100 : 102,5 : 54,5 und einschließlich 15 vH Verzinsung und Abschreibung des gesamten Schiffes wie 100 : 104 : 78,5 verhielten.

Wenn noch die Instandhaltungskosten mit in Betracht gezogen werden, so stellt sich der Vergleich auf 100 : 102 : 80.

Zahlentafel 2. Wirtschaftlichkeit der Motorschiffe.

Art des Vergleichs	*K* : *Oe* : *M*
Betriebskosten	100 : 102,5 : 54,5
desgl. einschl. 15 vH Verzinsung u. Abschr.	100 : 104 : 78,5
desgl. einschl. Instandhaltungskosten	100 : 102 : 80

Die Vorteile der Motorschiffe treten um so mehr in die Erscheinung, je länger die Reise und je schwieriger die Beschaffung von Kohlen auf dieser Reise ist; daher sind die Verhältnisse nicht für alle Fälle gleichartig, aber fast immer liegt die größere Wirtschaftlichkeit auf der Seite der Motorschiffe. Noch bis vor kurzem hielt man das Anwendungsgebiet der Dieselmotoren wegen ihrer begrenzten Leistung für auf Frachtschiffe beschränkt. Neuerdings sind aber mit Bezug auf Leistungserhöhung bedeutende Fortschritte gemacht worden, und so werden jetzt schon große Passagierschiffe mit Dieselmotoren ausgerüstet.

Unter diesen Umständen ist es nicht verwunderlich, daß an der Entwicklung des Dieselmotors in allen Schiffahrtsländern eifrig gearbeitet wird, und man kann im allgemeinen diese Bestrebungen unter vier Hauptpunkte zusammenfassen:

1) Erhöhung der Manövrierfähigkeit und Betriebsicherheit,
2) Vergrößerung der auf eine Schraubenwelle zu übertragenden Leistung,
3) Verbesserung der Wirtschaftlichkeit,
4) Verbilligung der Gesamtanlage.

Die im Bau und Betrieb der Dieselmotoren erzielten Fortschritte haben ermöglicht, daß in letzter Zeit eine Anzahl bemerkenswerter Motorschiffe in Auftrag gegeben werden konnten. Hierunter sind besonders aufgefallen die von der Royal Mail und Union Castle Line bei Harland & Wolff, Belfast, in Auftrag gegebenen Schiffe von 22 000 B.-R.-T., 192 m Länge, 22,2 m Breite, 14 m Raumtiefe. Diese Schiffe sollen mit je zwei doppeltwirkenden 8zylindrigen Viertaktmotoren, Bauart Burmeister & Wain, ausgerüstet werden.

Auch der Bau des Motorschiffes „Dolius" für die Holt Line hat die Aufmerksamkeit der Fachwelt wegen der auf diesem

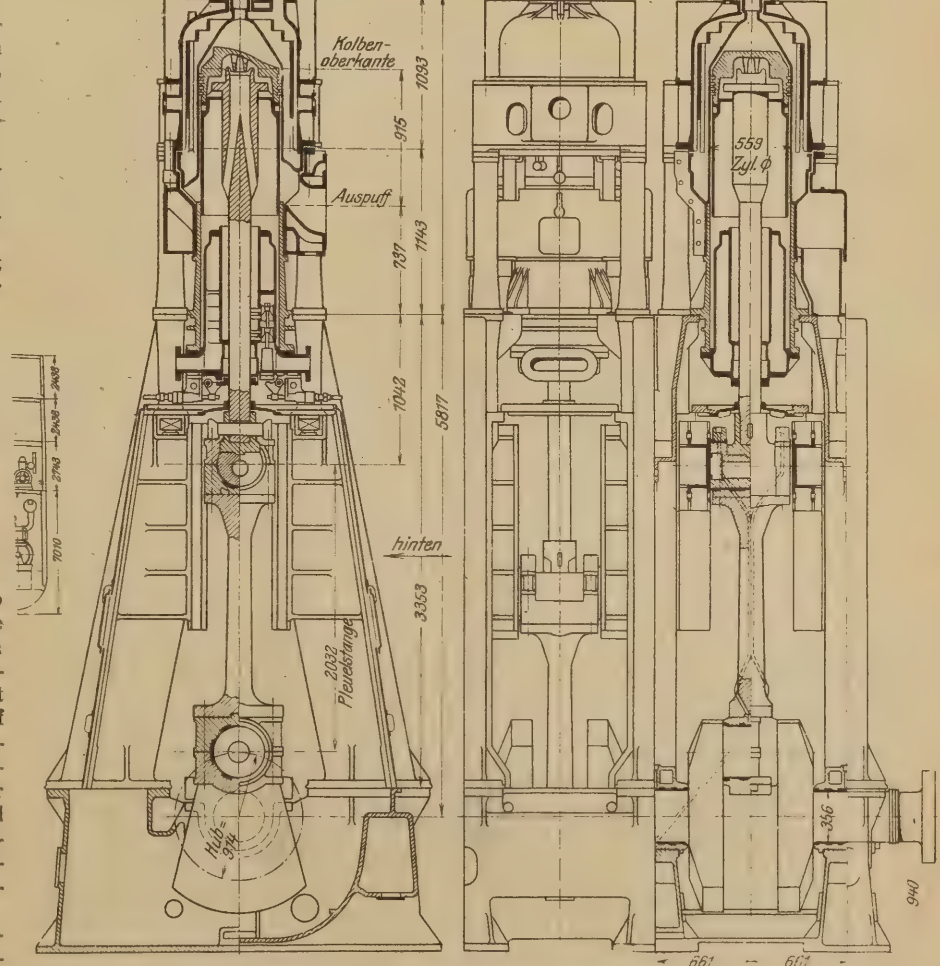


Abb. 1 und 2. Scott-Still-Schiffsdieselmaschine.

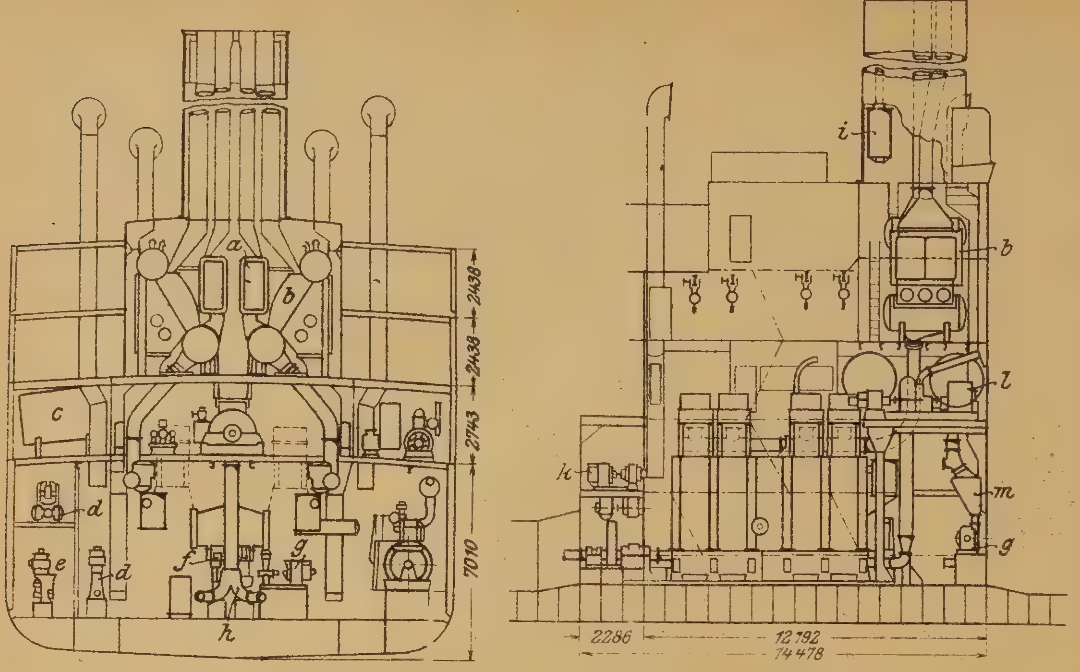


Abb. 3 und 4. Einbau der Scott-Still-Maschine im Schiff.

a Speisewasservorwärmer
b Abgaskessel
c Tank für Treiböl, Tagesverbrauch
d Lenzpumpen
e Ballastpumpe
f Speisepumpe
g Umlaufpumpe
h Spülluftkanal
i Schalldämpfer
k Betätigungspumpe
l Turbo-Spülluftpumpe
m Hauptkondensator

Schiffe zur Anwendung gekommenen Scott-Still-Maschine in hohem Maß erregt, Abb. 1 und 2. Bekanntlich arbeitet diese Maschine auf der oberen Kolbenseite als Dieselmotor, auf der unteren als Dampfmaschine, wobei der Dampf durch die Abgase des Dieselmotors erzeugt wird.

Die Dieselseite arbeitet nach dem Zweitaktverfahren mit Schlitzspülung; das Einspritzventil wird durch den Druck der Brennstoffpumpe geöffnet, das eingepreßte Öl ohne Luft zerstäubt. Ein besonders betätigtes Ventil regelt die Brennstoffmenge und läßt einen Teil des Öles aus der Druckleitung wieder in die Saugleitung zurückfließen. Die Dampfseite hat zwei Dampfeintritt- und vier Dampfauslaß-Kolbenschieber, die mittels Öldrucks gesteuert werden.

Die Nocken für die Betätigung der Brennstoffpumpen sind auf der Kurbelwelle angebracht, und die Nockenwelle, welche die Ölsteuerhähne für die Dampfschieber antreibt, wird beim Anfahren und Umsteuern mit der Hand, bei regelmäßiger Fahrt von der Kurbelwelle aus angetrieben. Infolge der einfachen Bauart der Steuerung und der Vermeidung aller angehängten Pumpen ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine sehr gut, er soll bei voller Belastung 90 vH erreichen. Abb. 3 und 4 zeigen die Anordnung im Schiff.

Wenn auch das geringe Gewicht von 130 kg/PS und der niedrige Ölverbrauch von 160 g/PSh sehr für diese Maschine sprechen, so ist es doch ungewiß, ob der verwickelte Aufbau und die damit in Verbindung stehenden größeren Betriebschwierigkeiten und Erhaltungskosten diese Vorteile nicht wieder aufheben. Die Betriebsergebnisse des Schiffes dürfte man daher mit Spannung erwarten.

Eine bemerkenswerte Maschine haben die North-British Diesel Engine Works mit ihrem doppeltwirkenden Zweitaktmotor herausgebracht, der die erste in England gebaute Maschine dieser Art darstellt, Abb. 5 bis 7. Ihr Kennzeichen ist der sich in derselben Richtung wie der Kolben auf und nieder bewegende Zylinder, wodurch die Kolbenstange mit ihrer schwer dichthaltenden Packung fortfällt und das Einspritz- und Anfahrventil auch im unteren Deckel gut angebracht werden kann, s. Abb. 8.

Jeder Zylinder öffnet sein eigenes Brennstoffventil mittels einer Knagge, welche den Ventilhebel betätigt. Der Kolben hat in der Mitte einen Kreuzkopf, der sich in dem Raum zwischen beiden Zylinderhälften bewegt. Wagerecht und parallel zur Kreuzkopffläche liegt im Kolben der Kreuzkopfzapfen, in welchen die um den unteren Teil des Zylinders herumfassende gegabelte Pleuelstange und der zur Bewegung des Zylinders dienende doppelarmige Schwinghebel eingreifen, Abb. 9.

Die Anfahr- und Regeleinrichtung ist am vorderen Ende der Maschine angebracht; hier liegen auch die Brennstoffpumpen,

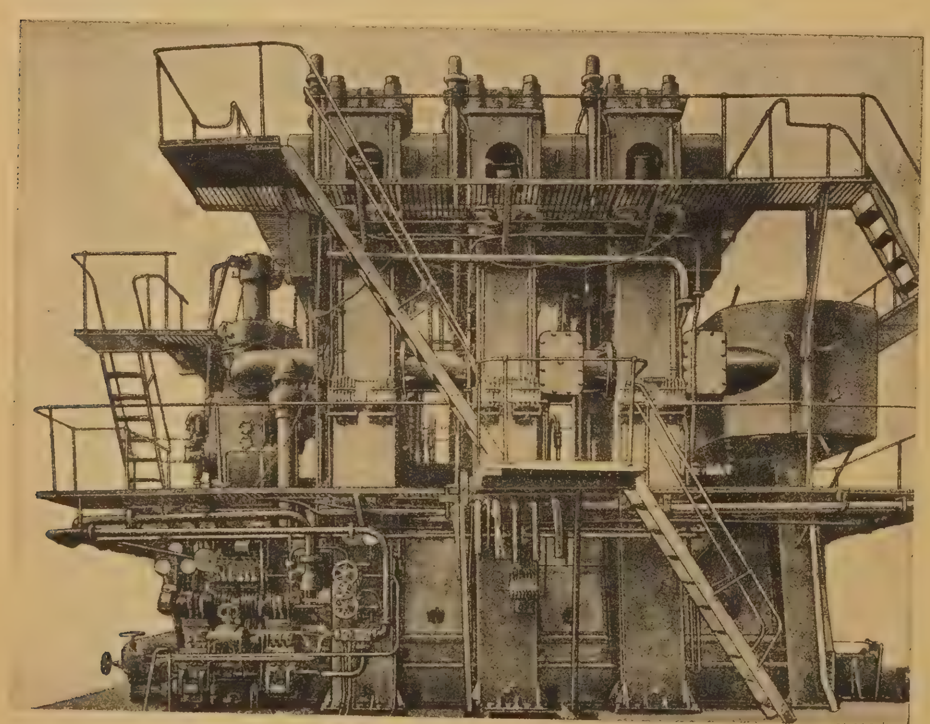


Abb. 5. Ansicht des doppeltwirkenden Zweitaktmotors der North British Diesel Engine Works

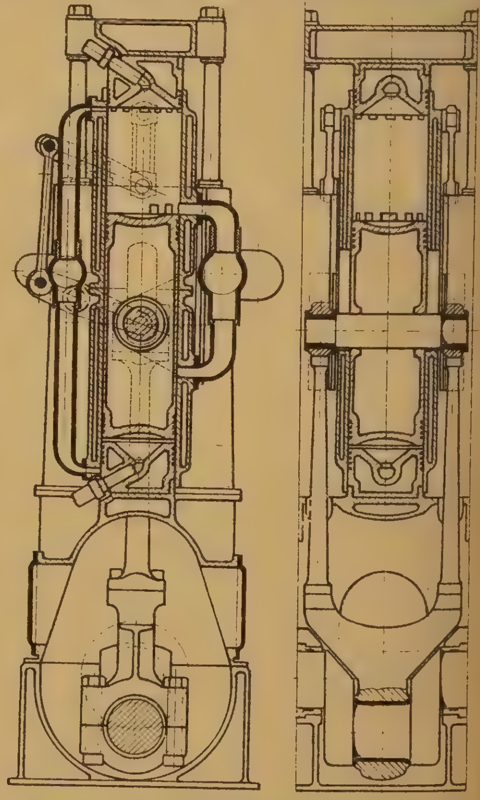


Abb. 6 und 7. Doppelt wirkender Zweitakt-Dieselmotor der North British Diesel Engine Works.

wovon jeder Zylinder zwei hat, im ganzen also sechs, die von einer Exzenterwelle angetrieben werden. Die Exzenterwelle wird mittels einer geneigten Welle durch Kegelräderübersetzung von der Kurbelwelle aus bewegt und trägt noch je sechs Nocken für Vorwärts- und Rückwärtsgang der Luftsteuerkolben, die Anfahrluft zu den Anfahrventilen treten lassen, s. Abb. 5.

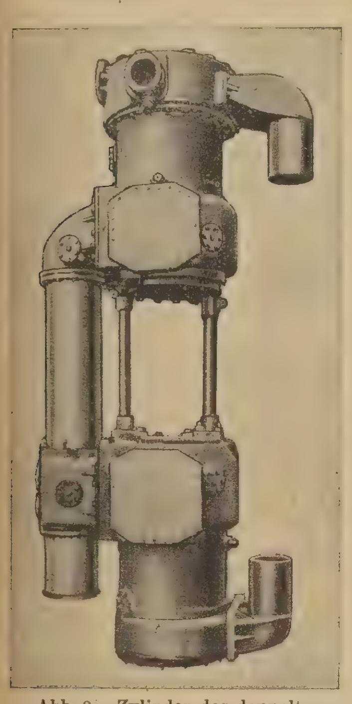
Die Exzenterwelle kann mittels eines Hebels längsschiff nach vorn und hinten bewegt werden, wodurch die betreffenden Nocken mit dem Luftsteuerhebel jedes Zylinders entweder für Vor- oder Rückwärtsbewegung in Verbindung kommen.

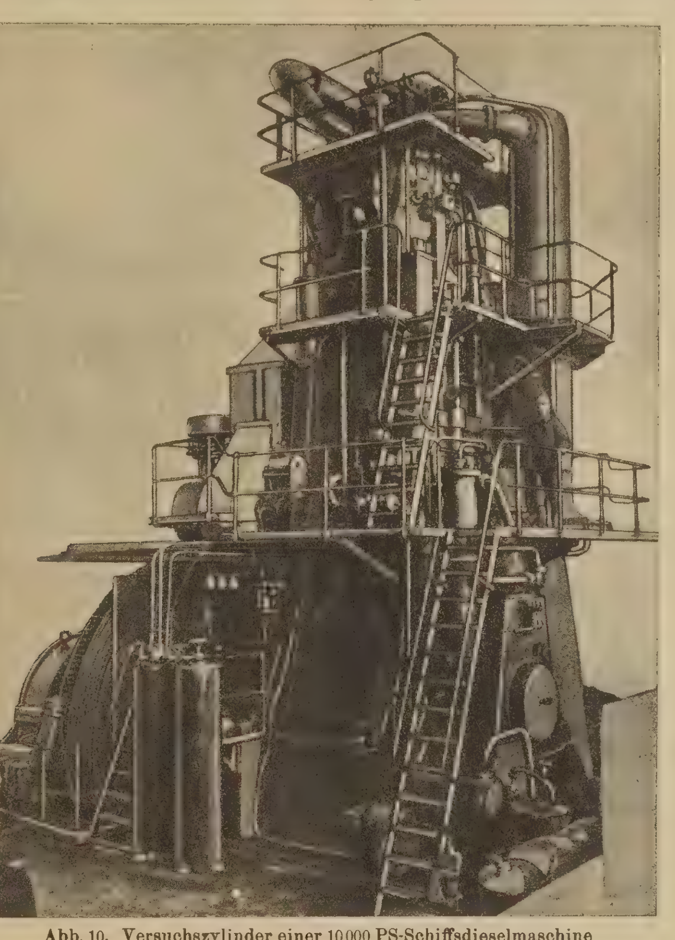
Der Zylinderhub beträgt 330 mm, der Kolbenhub 1180 mm, der Zylinderdurchmesser 623 mm. Die Maschine leistet 2000 PS bei 100 Uml./min und wiegt 115 kg/PS.

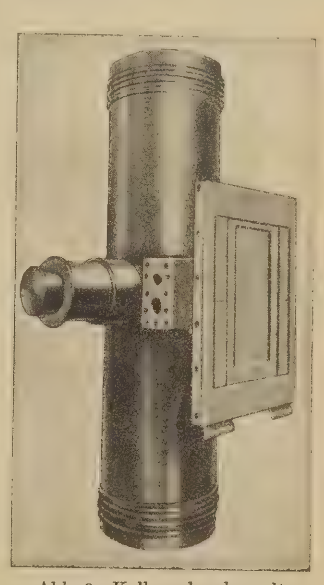
Auf die große Zahl weiterer Schiffs-Dieselmotortypen, die man in England auf Werften und in Maschinenfabriken durchgebildet hat, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Blohm & Voß lassen zwei schnellaufende Motoren auf ein gemeinsames Getriebe wirken, dessen großes Rad die Propellerwelle antreibt, Abb. 12. Eine solche Anordnung der Motoren erhalten die bei Blohm & Voß im Bau befindlichen Schiffe der Hamburg-Südamerikanischen Dampfschiffahrts-Gesellschaft. Die vier Sechszylinder-Motoren leisten je 1750 PS_e bei 217 Uml./min sowie 600 mm Zyl.-Dmr. und 700 mm Hub. Die Schraubenwellen laufen mit 77 Uml./min. Die Zylinder, Kolben und Zylinderdeckel haben Frischwasserkühlung.

Die Kurbelwelle ist hinter dem Schwungrad verjüngt durch das hohle Ritzel durchgeführt und mit ihm durch eine besondere Kupplung verbunden. Durch diese Anordnung werden die etwa durch das ungleichförmige Drehmoment des Motors hervorgerufenen Torsionsschwingungen vom Getriebe ferngehalten, wie denn auch die Getriebe der Motorschiffe „Münsterland“ und „Havelland“, die schon über zwei Jahre dauernd in Betrieb sind, trotz teilweise sehr schlechten Wetters noch nicht die geringste Spur von Abnutzung zeigen.


Abb. 8. Zylinder des doppeltwirkenden Zweitaktmotors der North British Diesel Engine Works.


Abb. 10. Versuchszylinder einer 10 000 PS-Schiffsdieselmaschine der Deutschen Werft A.-G.


Abb. 9. Kolben des doppeltwirkenden Zweitaktmotors der North British Diesel Engine Works.

Jede Bauart hat ihre kleinen Eigentümlichkeiten, die sie für den Gebrauch an Bord besonders geeignet machen sollen. Inwieweit sie sich durchsetzen werden, läßt sich im Augenblick noch nicht übersehen, da sich die Entwicklung erst in den Anfangsstufen befindet; jedenfalls ist es aber dringend geboten, die Entwicklung auf dem Gebiete der Schiffsdieselmotoren in andern Ländern und die dort erzielten Ergebnisse mit der größten Aufmerksamkeit zu verfolgen und daraus für unsere Ausführungen die richtigen Folgerungen zu ziehen.

Deutsche Schiffs-Dieselmaschinen.

In Deutschland haben die Bestrebungen nach Erhöhung der auf eine Schraubenwelle zu übertragenden Leistung zu verschiedenen Lösungen geführt. Die Deutsche Werft erhöhte die Leistung ihrer Viertakt-Motoren, Bauart Burmeister & Wain, durch Doppeltwirkung und Vorverdichtung der Ansaugeluft; diese Mittel gestatten, Zylinderleistungen bis zu 1250 PS_e zu erzielen, bei 8 Zylindern also 10 000 PS_e auf eine Welle zu übertragen. Abb. 10 zeigt die einzylindrige Versuchsmaschine auf dem Prüfstand. Die Schwierigkeiten, die anfänglich die Ventil- und Deckelkonstruktion für die untere Zylinderseite sowie die Dichtung der Kolbenstange bereitet hatten, sollen völlig überwunden sein, so daß auch bei angestrengtem Dauerbetrieb kein Versagen dieser Teile befürchtet wird.

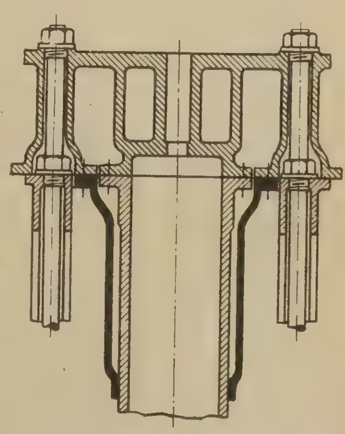
Abb. 11 zeigt noch die Neukonstruktion von Arbeitszylinder, Deckel und Kühlmantel, die von der Deutschen Werft für einen einfachwirkenden Viertakt-Großdieselmotor durchgebildet worden ist.

Jede Maschine kann mit Hilfe der vorerwähnten Kupplung in wenigen Minuten vom Getriebe abgeschaltet werden, wenn dies bei einem Maschinenschaden oder aus andern Gründen notwendig sein sollte. Die Maschinen arbeiten mit Vorverdichtung der Ansaugeluft, die durch zwei Turbogebläse beschafft wird.

Die Motoren beider Schiffe unterscheiden sich nur dadurch, daß diejenigen für das erste Schiff Tauchkolben, die für das zweite Schiff Kolben mit Kreuzkopf und Kolbenstange erhalten. Beide Schiffe erhalten Abgasekessel, und das erste Schiff elektrischen, das zweite Dampfantrieb für die Hilfsmaschinen.

Die Maschinenanlage wiegt einschließlich Rädergetriebe und Drucklager 95 kg/PS; ein so niedriges Gewicht hat bisher keine andre Viertaktmaschine erreicht.

Die Vulcanwerke schalten ebenfalls mehrere Motoren auf ein Zahnradgetriebe, doch ist die Ritzelwelle nicht starr, sondern mittels einer hydraulischen Kupplung, in der Konstruktion ähnlich dem Föttinger-Transformator mit einer Drehzahlübersetzung von 1 : 1, mit der Kurbelwelle des Motors verbunden, Abb. 13. Die hydraulische Kupplung arbeitet mit Öl und hat


Abb. 11. Zylinderkühlung des einfach wirkenden Viertaktmotors, Bauart Deutsche Werft A.-G.

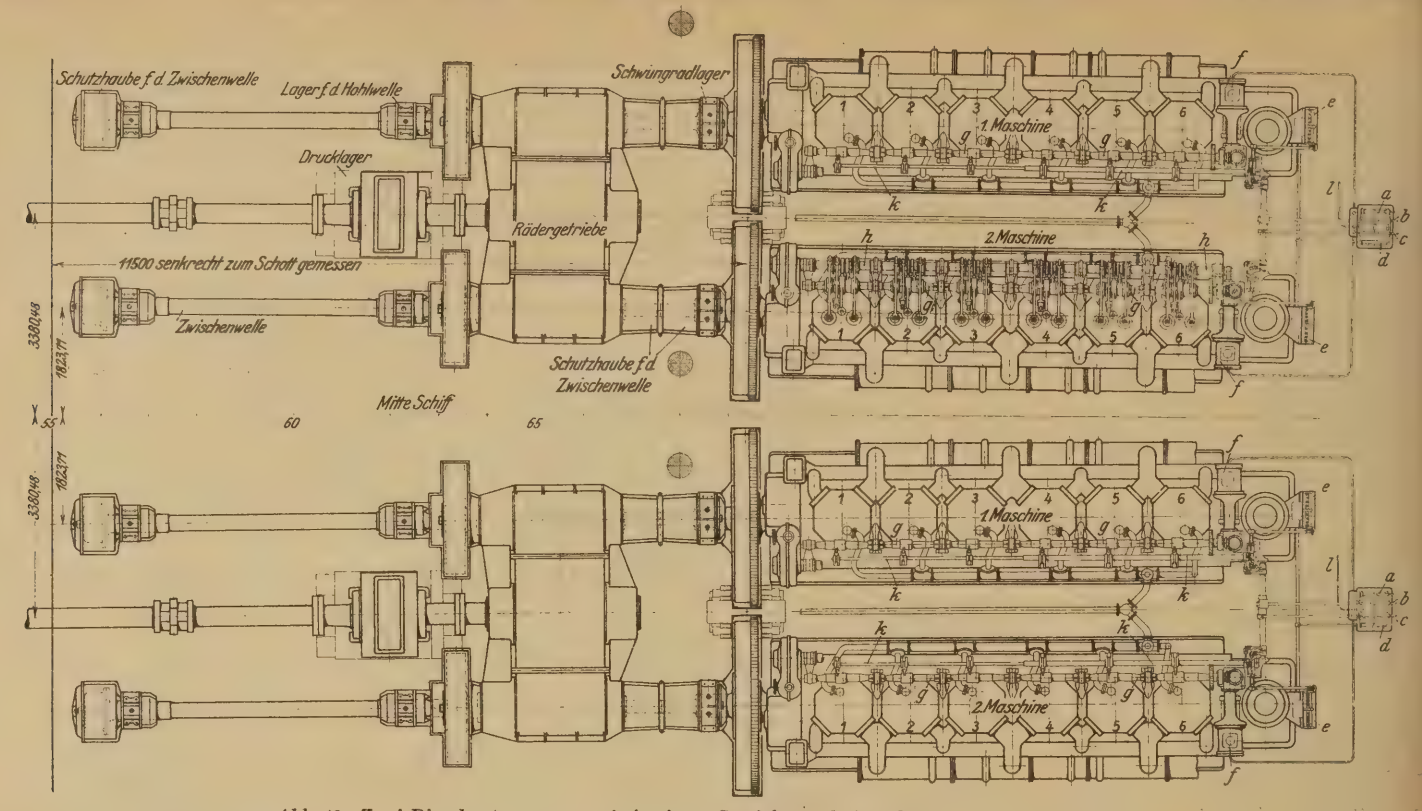


Abb. 12. Zwei Dieselmotorenpaare mit je einem Getriebe nach Anordnung von Blohm & Voß.

a Umsteuerhebel
b Anfahrhebel für Zylinder 4 bis 6 } für 1. und 2. Maschine
c Anfahrhebel für Zylinder 1 bis 3 }
d Brennstoffhebel
e Brennstoffpumpe
f Umsteuerzylinder
g Hebelachse
h Steuerwelle
k Umsteuerwelle
l von der Einblaseleitung

einen umkehrbaren Kreislauf für Vor- und Rückwärtsfahrt, wodurch das Umlaufen des Motors in einer Richtung ermöglicht ist.

Ganz unabhängig von der Drehzahl des Motors kann die Drehzahl der Propellerwelle herabgesetzt werden, je nachdem man den betreffenden Kreislauf mehr oder weniger füllt. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber allen andern starr mit dem Propeller gekuppelten Dieselmotoren, bei denen sehr langsames Anfahren, wie bei der Turbine oder Dampfmaschine, nicht möglich ist. Es ist indessen fraglich, ob die Vorteile des Vulcan-Getriebes das größere Gewicht, den größeren Raumbedarf und den um 3 vH schlechteren Wirkungsgrad gegenüber der Anordnung von Blohm & Voß aufwiegen.

Im allgemeinen wird das Erhöhen der Leistung einer Welle durch Zusammenkuppeln mehrerer schnellaufender Motoren mittels Getriebes in England abgelehnt, wohl mit deshalb, weil dort diese Verhältnisse nicht so leicht beherrscht werden können. Es ist auch nicht ausgeschlossen, daß in Deutschland dieser Weg

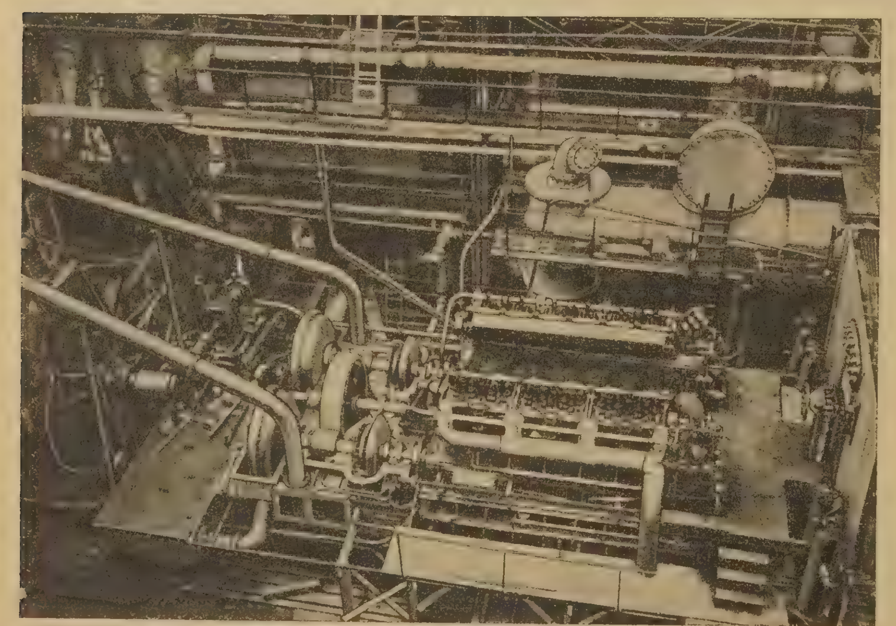


Abb. 13. Vulcan-Getriebe mit hydraulischer Kupplung für Dieselschiffe.

wieder verlassen wird, sobald sich der doppeltwirkende Zweitaktmotor der MAN als betriebsicher erweist. Die auf dem Prüfstand in Augsburg laufende einzylindrige Versuchsmaschine von 800 mm Zyl.-Dmr. und 1050 mm Hub, Abb. 14, hat bis jetzt ausgezeichnet gearbeitet. Sie leistet bei 100 Uml./min 1000 PS mit dem verhältnismäßig niedrigen mittleren wirksamen Kolbendruck von 4,3 at und wiegt nur 60 kg/PS_e. Die Maschine arbeitet jetzt noch mit Lufteinspritzung, sie soll aber luftlose Einspritzung erhalten. Anfahrventile befinden sich nur im oberen Deckel; das bedingt eine wenigstens vierzylindrige Anordnung, die auch schon des Massenausgleichs und besseren Drehmoments wegen anzustreben ist. Im übrigen ist die Konstruktion der Maschine von Prof. Nägel auf der Dieseltagung des V. d. I. schon näher beschrieben worden[1]), so daß sich ein weiteres Eingehen darauf hier erübrigt.

Neben der Ausführung dieser neuen Ideen wird auch an der Verbesserung der Konstruktion eifrig gearbeitet. Nach den bis jetzt vorliegenden praktischen Erfahrungen können hierfür folgende Richtlinien aufgestellt werden:

1) Die Ständer der Maschinen sollten durch passend angeordnete Längsanker von Zugbeanspruchungen befreit werden und eine gute Zugänglichkeit der Wellen-, Kurbel- und Kreuzkopflager gewährleisten, z. B. wie bei der Maschine der Deutschen Werke, Werft Kiel.

2) Ein Kreuzkopf soll den wagerechten Druck der Pleuelstange aufnehmen.

3) Der Zylinder muß gegen den Kurbelraum dicht abgeschlossen sein, so daß auch bei undichten Kolbenstangen-Stopfbüchsen oder Kolbenringen keine Verbrennungsgase aus dem Zylinder nach dem Kurbelraum und in das Schmieröl gelangen können und kein Schmieröl in die Zylinder geschleudert oder gesaugt werden kann.

4) Die Zylinder- und Kolbenkühlung soll weder mit Seewasser noch mit Öl, sondern mit Frischwasser gespeist werden. Warmes Seewasser zerfrißt Rohre und Kühlräume trotz Zinkschutzes, der außerdem häufig zerstört wird. Das Wasser ist dem Kolben durch Posaunenrohre zuzuführen, deren Stopfbüchsenabdichtung so liegt, daß daraus unter keinen Umständen Wasser in das Schmieröl

[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 725.

gelangen kann. Salzwasser läßt sich aus dem Schmieröl nicht wieder entfernen, da es emulgiert. Schlammiges Kühlwasser hat schon große Betriebsstörungen hervorgerufen. Bei Ölkühlung der Kolben bildet sich Graphit an den heißen Böden, der sich aber im Öl wieder auflöst und dieses so verschlammt, daß es nicht mehr gepumpt werden kann.

Bei Seewasserkühlung ist im Winter das Kühlwasser oft zu kalt; es muß daher eine besondere Rohrleitung vorhanden sein, die das angewärmte Kühlwasser wieder zur Saugleitung zurückführt. Wird diese Vorsichtsmaßregel nicht angewandt, so können durch zu starke Kühlung in Kolben und Zylindern Risse entstehen, außerdem bildet sich an den gekühlten Wandungen der Auspuffventilgehäuse unter Umständen Schwefelsäure, die die Ventilkegel und Ventilsitze zerfrißt.

5) Das Maschinengestell ist öldicht auszubilden, damit keinerlei Öldünste nach dem Maschinenraum austreten können.

6) Ein angehängter Kompressor soll zur besseren Führung der Kolben mit besonderer Kreuzkopfgradführung versehen sein.

7) Die Zylinder sollen die Luft durch eine besondere Leitung ansaugen, die nach Wahl von außerhalb oder sachgemäß aus dem Maschinenraum kommt. Der Querschnitt dieser Leitung muß so groß sein, daß kein größerer Unterdruck als 20 mm W.-S. darin auftritt. Dieses Ansaugrohr darf nicht mit dem Kurbelraum verbunden werden.

8) Das Treiböl muß richtig vorgewärmt in die Zylinder gelangen. Eine Vorwärmeinrichtung ist unbedingt notwendig, weil im Ausland häufig dickflüssige und schwer zerstäubbare Öle an Bord kommen.

9) Das Treiböl muß nach dem Vorwärmen durch eine Feinfilteranlage fließen, die in die Saugleitung der Brennstoffpumpe eingeschaltet wird. Im Öl enthaltene Schmutzteile haben vielfach Beschädigungen der Ventile und Zylinder verursacht.

10) Das Schmieröl muß vorgewärmt und ausgeschleudert werden können. Kühlvorrichtung für das Schmieröl ist erfahrungsgemäß unnötig, wenn genügend große Sammelbehälter im Doppelboden vorhanden sind.

11) Es muß möglich sein, jederzeit festzustellen, ob alle Schmierstellen ihre richtige Ölmenge bekommen, weil man bei der geschlossenen Bauweise der Maschine nicht die Lager nachfühlen kann.

Je nach der Maschinenart hätte man diese Forderungen neben einigen andern für den Betrieb weniger wichtigen und hier nicht aufgeführten abzuändern; vor allem aber sollte immer der Grundsatz gelten, keine Ersparnis im Verbrauch oder sonstige Verbesserung auf Kosten der Einfachheit und Betriebsicherheit herbeiführen zu wollen.

Abwärmeverwertung.

Die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Schiffs-Diesel-Motoranlage durch Nutzbarmachung der in den Abgasen und im Kühlwasser enthaltenen Wärme für die Dampferzeugung in besonderen Abgaskesseln, wie bereits bei der Scott-Still-Maschine grundsätzlich ausgeführt, wird jetzt auch von andern Firmen immer mehr in Betracht gezogen.

Bekanntlich gehen ungefähr 30 vH der in dem Brennstoff enthaltenen Wärme mit den Abgasen verloren, die unter normalen Umständen mit 320° abströmen. Die Deutsche Werft hat Versuche mit einem Abgaskessel auf dem Prüfstand der AEG-Turbinenfabrik, Berlin, durchgeführt, die ergeben haben, daß mit der Abgaswärme ungefähr 0,4 kg Dampf von 8 at Spannung für je 1 $PS_e h$ erzeugt werden können.

Ein solcher Abgaskessel, Abb. 15, ist jetzt zu Versuchszwecken auf dem seit einem Jahr in Betrieb befindlichen Motorschiff „Spreewald" der Hamburg-Amerika-Linie aufgestellt worden. Der erzeugte Dampf soll zum Vorwärmen des Brennstoffes, für die Heizung und gegebenenfalls noch zur Erzeugung von elektrischem Strom dienen, s. Abb. 16.

Antrieb der Hilfsmaschinen.

Bei der Aufstellung eines Abgaskessels erscheint es angebracht, die Frage des Hilfsmaschinenantriebs, die durchweg zugunsten des elektrischen entschieden war, von neuem zu untersuchen. In einem Vortrag in der Society of Engineers & Shipbuilders in Scotland hat R. Love berechnet, daß zur Erzeugung von 1 PSh bei Dampfantrieb 2,25 kg und bei elektrischem Antrieb nur 0,24 kg Öl gebraucht werden. Er kommt hierbei zu Verbrauchswerten, die sehr gut mit den im praktischen Betrieb gefundenen übereinstimmen, wie folgende Zahlentafel zeigt:

Zahlentafel 3. Kosten für den Betrieb der Hilfsmaschinen auf Motorschiffen.

Antrieb	Öl	Verbrauch auf See pro Tag	Hafenverbrauch mit Löschen u. Laden	Hafenverbrauch ohne Löschen u. Laden	Kosten im Jahre bei 200 See- und 120/45 Hafentagen		Kostenunterschied
		kg	kg	kg	t	ℳ	ℳ
Dampf	Heizöl 60 ℳ/t	1 750	6 300	3 500	1 264	76 000	63 300
Elektriz.	Treiböl 65 ℳ/t	300	900	600	195	12 700	
Nach den Berechnungen von Love in einem Vortrag im Inst. of Eng. & Shipb in Scotland							
Dampf	Heizöl 60 ℳ/t	2 840	5 530	1 500	1 277	76 780	68 180
Elektriz.	Treiböl 65 ℳ/t	300	545	150	131,75	8 600	

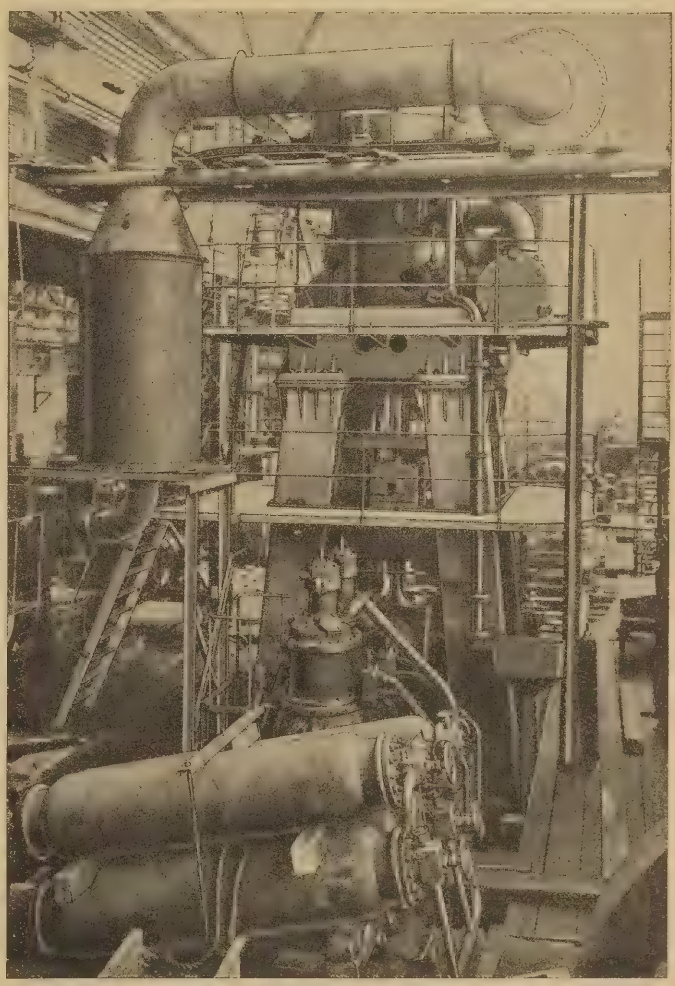


Abb. 14. Doppeltwirkende Zweitakt-Schiffsdieselmaschine der MAN.

Man erzielt somit bei elektrischem Antrieb eine Ersparnis von rd. 65 000 ℳ jährlich, und Love befürwortet daher diesen, läßt aber hierbei die höheren Instandhaltungs- und Anschaffungskosten, daher auch höhere Verzinsung und Abschreibung außer Betracht.

Berücksichtigt man diese Kosten, so ergeben sich bei einem Anschaffungspreis der Hilfsmaschinen für ein Schiff von 10 000 t Tragfähigkeit:

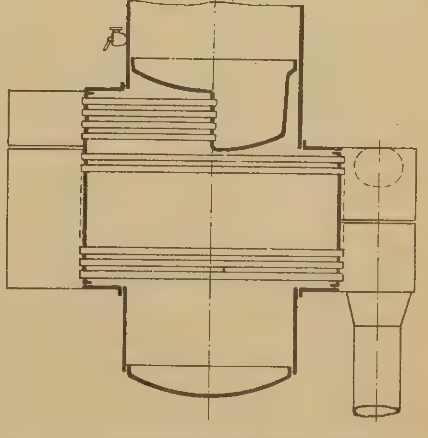


Abb. 15. Abgaskessel der Deutschen Werft A.-G.

bei elektrischem Antrieb . . . . 372 000 ℳ
bei Dampfantrieb . . . . 222 000 „
bei 15 vH Verzinsung und Abschreibung an Mehrkosten bei elektrischem Antrieb . . . . . . 22 500 „
Hinzu kommen an Mehrkosten für Instandhaltung bei elektrischem Betrieb . . . . 9 500 „

so daß für den elektrischen Antrieb jährlich 32 000 ℳ mehr als für den Dampfantrieb aufgewendet werden müssen. Diese Mehrkosten des elektrischen Hilfsmaschinenantriebs können aber durch Ersparnis an Brennstoffkosten leicht wieder eingebracht werden, und so ist die allgemeine Verwendung des elektrischen Hilfsmaschinenantriebs durchaus richtig, falls ein mit Öl gefeuerter Kessel zum Vergleich dient.

Durch die Aufstellung eines Abgaskessels gewinnt man aber die Betriebskraft für die Hilfsmaschinen auf See ohne besondere Kosten aus den Abgasen der Hauptmotoren, gleichgültig, ob der Antrieb elektrisch oder durch Dampf erfolgt. Im ersteren Fall wird eine Dampfturbodynamo aufgestellt, die auf See den gesamten Strombedarf für Licht- und Kraftzwecke decken kann.

Für die Versorgung der Deckhilfsmaschinen mit elektrischem Strom im Hafen sind dann zwei weitere durch Dieselmotoren angetriebene Dynamomaschinen aufzustellen, wovon jede groß genug sein muß, um den gesamten Strombedarf zu decken. Diese Dieselmotoren treiben auch die Kompressoren für die Beschaffung der Manövrier- und Einblaseluft an.

Bei Dampfantrieb der Hilfsmaschinen stehen im Hafen aber keine Motorabgase zur Erzeugung von Dampf zur Verfügung, weshalb dann ein Kessel besonders geheizt werden müßte; für den Hafenbetrieb ergeben sich also im wesentlichen dieselben Kostenverhältnisse, die vorhin der Berechnung zugrunde gelegt worden sind.

Der Minderverbrauch an Öl bei elektrischem Antrieb betrug beim Löschen und Laden rd. 5 t täglich, was eine Ersparnis von rd. 300 ℳ täglich ergibt. Da man selbst bei langen Reisen 120 Hafentage erreicht, stellt sich auch in diesem Fall der elektrische Antrieb noch etwas billiger als der Dampfantrieb.

In neuerer Zeit hat man angeregt, die Hilfsmaschinen statt mit reinem Dampf, mit einem Gemisch von Preßluft und Dampf anzutreiben. Die von den Deutschen Werken, Werft Kiel, angestellten Versuche haben ergeben, daß bei rd. 30 vH Dampfzusatz für den Windenantrieb der Luftverbrauch sehr günstig ist, Abb. 17. Für die Lieferung des Zusatzdampfes kann der Abgaskessel mit einem kleinen Ölbrenner in Betrieb gehalten werden, wobei sich dann die Kosten gegenüber elektrischem Antrieb wie folgt stellen:

Zahlentafel 4. Jährliche Kosten des elektrischen und Dampfluftantriebs für Hilfsmaschinen bei 150 Lösch- und Ladetagen.

	Elektr. Antrieb		Dampfluftantrieb		Bemerkungen
	t	ℳ	t	ℳ	
Gasöl	135,0	8 100	<u>210,4</u>	12 600	Die unterstrichenen Zahlen sind von den Deutschen Werken, Werft Kiel mitgeteilt.
Schmieröl	1,5	600	<u>4,0</u>	1 600	
15 vH. Abschr. u. Verzins.		56 000		33 500	
Instandhaltung		26 000		16 500	
		90 700		64 200	

Der elektr. Antrieb ist rund 42 vH teurer als der Dampfluftantrieb.

Wenn hiernach der Dampfluftantrieb sparsamer als der elektrische Antrieb ist, so bietet doch die Beimischung des Dampfes zur Luft gewisse Schwierigkeiten. Da jedoch der elektrische Antrieb auch nicht störungsfrei arbeitet, und die Klagen aus allen Häfen über Störungen und schwierige Betriebsführung der elektrischen Winden nicht aufhören wollen, so wäre ein Versuch, die Hilfsmaschinen auf Motorschiffen mit Dampfluftgemisch anzutreiben, sehr zu empfehlen. Bei den Dampfwinden paßt sich auch die Geschwindigkeit der Last in den Grenzen von 0,65 bis 3,5 m/s ohne weiteres an, bei den elektrischen Winden liegen diese Geschwindigkeitsgrenzen zwischen 0,65 und 1,9 m/s, also weit enger, so daß der Dampfwinde eine gewisse Überlegenheit nicht abzusprechen ist.

Auch die elektrische Rudermaschine und die im Maschinenraum aufgestellten Motoren haben vielfach Störungen durch Beschädigung der Isolierung infolge Eindringens von Seewasser und Öl aufzuweisen. Wenn daher der Dampfluftantrieb einwandfrei ist und sogar mit größerer Wirtschaftlichkeit als der elektrische Antrieb durchgeführt werden könnte, so würde dies von dem gesamten Bedienungspersonal freudig begrüßt werden.

Flüssige Brennstoffe für Schiffe.

Für den Betrieb der deutschen Diesel-Motorschiffe kommen verschiedene Öle in Frage, je nachdem auf welcher Strecke die Schiffe fahren. Die nach dem fernen Osten fahrenden brauchen in der Regel zwei Sorten, und zwar Borneo-Öl und persisches Öl. Von diesen beiden ist nur je eine Sorte vorhanden, die auch für Kesselfeuerung auf denjenigen Schiffen benutzt werden muß, die Öl brennen. Das Borneo-Öl kostet 65 sh, das persische Öl 60 sh die Tonne.

Abb. 16. Aufstellung eines Abgaskessels auf dem Motorschiff „Spreewald" der Hamburg-Amerika-Linie.

a Tagesbrennstoffbehälter
b_1 Heizungseintritt
b_2 Heizungsaustritt
c Frischluft-Regelklappe
d_1 zu den Kühlräumen
d_2 von den Kühlräumen
e Diffusor
f Kondensator
g Verdampfer
h Frischluftgebläse
i Solepumpe
i_1 Kühlwasserpumpe
i_2 Kondensatpumpe
i_3 Speisepumpe
i_4 Injektor
k Umschaltkasten
l Kondenstopf
m Kondenstank
n Entlüftung zum Schornstein
o_1 Brennstoff-Feinfilter
o_2 Brennstoff-Grobfilter
p von der Deckheizung
q Schornstein für die Zusatzölfeuerung
r Kühlschlange
s Brennstoff-Sammeltank
t nach der Brennstoffpumpe der Hauptmaschine
u Flur
v Kammerheizung
w nach dem Hinterschiff
w_1 nach der Maschinenheizung
x von der Maschinenraum-Heizung
y Zusatz-Ölbrenner
z Frischwassertank

Das Borneo-Öl hat sich als gutes Öl für Dieselmaschinen erwiesen, und es ist daher Verschwendung, es unter Schiffskesseln zu verbrennen. Das persische Öl ist für Dieselmotoren ebenfalls gut geeignet, hat aber in zwei Fällen versagt. Das Öl verbrannte schlecht, weil es zu zähflüssig war, und die Ventile wurden stark angegriffen. Zum Vorwärmen dieses Öles ist daher eine besondere Einrichtung erforderlich, die auf englischen Motorschiffen überall vorhanden sein soll, aber auf deutschen Schiffen bis jetzt meist noch fehlt.

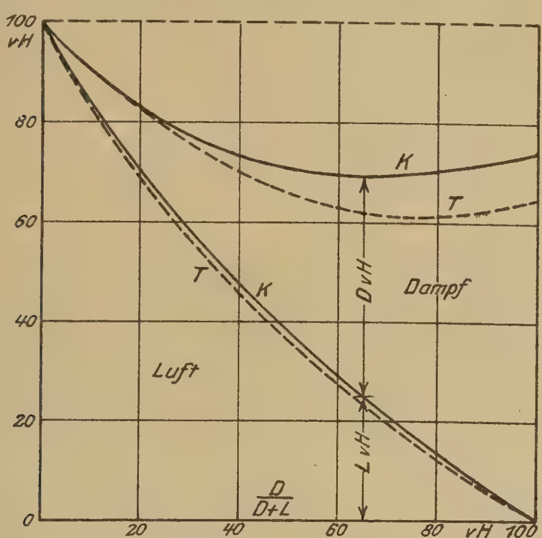


Abb. 17 Verbrauch an Dampfluftgemisch für die Leistungseinheit in vH.
T = Dampfturbine,
K = Kolbendampfmaschine.

Die Lieferanten behaupten, daß die Güte des Öles in allen Fällen dieselbe sei, der Mißerfolg könnte daher nur auf Betriebsfehlern beruhen. Die Ursache des Versagens hat indes nicht mit Sicherheit festgestellt werden können; vermutet wird nur, daß das Öl zu kalt war und daher nicht genügend zerstäubte.

Schiffe, die nach Amerika fahren, verwenden in der Hauptsache mexikanisches und kalifornisches Öl. Von beiden Ölen gibt es sowohl Dieselöl als auch Heizöl, die verschieden teuer sind.

Mexikanisches Heizöl kostet im Mittel . . . . . . 36/— sh/t
„ Diesel-Öl „ „ „ . . . . . . 51/7 „
Kalifornisches Heizöl kostet in San Francisco . . 28/5 „
„ Diesel-Öl „ „ „ „ . . 31/10 „

Der Preis des mexikanischen Heizöls schwankt auch noch etwas, je nach der Höhe seines spezifischen Gewichts. Der obengenannte Preis wird bei einem spezifischen Gewicht von 14 bis 16° Beaumé bezahlt.

Für mexikanisches Heizöl wird ferner bezahlt:

in Hamburg . . . . 54 sh/t
„ Las Palmas . . . . 56 „
„ Buenos Aires . . . . 64 „

Alle Ölpreise sind starken Konjunkturschwankungen unterworfen. Über die Eigenschaften der Öle s. Zahlentafel 5.

Auch bei mexikanischem Dieselöl sind in einem Falle starke Anfressungen an den Auspuffventilen aufgetreten, s. Abb. 18; auf den Ventilen befand sich ein grauer Niederschlag, der als Eisenvitriol festgestellt wurde. Die Untersuchung des Öles er-

Zahlentafel 5. Eigenschaften der wichtigsten Heiz- und Treiböle.
(Ungefähre Durchschnittswerte.)

	Spezif. Gew.		Heizwert (unterer)	Viskosität n. Engler		Flammpunkt	Brennpunkt	Schwefelgeh.
	absolut	°Bé	kcal/kg	bei 20° C	bei 50° C	o.T. °C	o.T. °C	vH
Mexikan. Öl								
Heizöl	0,965	15,9	9 650	—	40	105	140	3,3
Treiböl	0,870	30,9	10 200	2		85	110	1,5
Texasöl								
Heizöl	0,950	17,5	9 700	—	25	95	135	3,0
Treiböl	0,890	27,5	10 100	2		85	112	1,0
Kaliforn. Öl								
Heizöl	0,940	19,0	9 900	—	5	105	130	1,2
Treiböl . . .	0,910	24,0	10 000	2,5		95	110	0,5
Persisches Öl								
Heiz- u. Treiböl	0,890	27,5	10 000	10	—	100	125	1,5
Borneoöl								
Heiz- u Treiböl	0,930	20,7	9 950	8	—	105	130	0,3

gab die übliche Zusammensetzung, die bisher keine Anfressungen hervorgerufen hatte. Als mutmaßliche Ursache wurde starke Unterkühlung der Auspuffventile angenommen, wobei sich Schwefelsäure durch Verbindung des aus den Abgasen kondensierten Wassers mit Schwefeldioxyd bildete.

In neuerer Zeit hat man erfolgreiche Versuche gemacht, mexikanisches Heizöl im Dieselmotor zu verbrennen, wozu aber umfangreiche mechanische Reinigungs- und Filteranlagen erforderlich sind. Außerdem muß das Öl mit 120 °C in die Brennstoffventile eintreten, weil es sonst nicht zerstäubt. Ob es möglich ist, Heizöle, die, ganz abgesehen von den sonstigen Verunreinigungen, eine beträchtliche Menge Asphalt enthalten, im Dauerbetrieb auf See zu verbrennen, muß die Erfahrung lehren.



Abb. 18. Anfressungen am Ventil und Ventilsitz beim Betrieb mit mexikanischem Dieselöl.

Die Bemühungen der an der Weiterentwicklung des Schiffsdieselmotors beteiligten Kreise und die Gemeinschaftsarbeit zwischen Werften und Reedereien lassen erhoffen, daß auch auf diesem Gebiete die aufgewendete Mühe und Arbeit schließlich zum Erfolg führen wird. Daß auch deutscher Forschungs- und Unternehmergeist trotz aller Erschwerungen mit zu diesem Erfolg beitragen möge, ist aufs innigste zu wünschen, nicht nur zur Hebung des deutschen Ansehens im Auslande, sondern auch zum Wohle deutscher Schiffahrt und damit auch des gesamten deutschen Volkes. [A 202]

Dr.-Ing. Otto Alt †.

Mitten heraus aus erfolgreichem Schaffen hat der Tod einen hervorragenden begabten Förderer deutscher Technik hinweggerissen. Am 24. März 1924 ist nach schwerem Leiden Dr.-Ing. Otto Alt, Vorstand der Abteilung Dieselmotorenbau und Handlungsbevollmächtigter der Fried. Krupp Germaniawerft A.-G. in Kiel, im 41. Lebensjahre verschieden. Nachdem Dr. Alt im Herbst 1907 an der Technischen Hochschule Charlottenburg sein Diplomexamen abgelegt hatte, war er nacheinander bei verschiedenen Firmen und Behörden, hauptsächlich im Ölmaschinenbau, beschäftigt. In den Jahren 1914 bis 1915 leistete er Kriegsdienste. Im November 1917 trat er als Oberingenieur und Leiter des Konstruktionsbureaus der Abteilung Dieselmotorenbau in den Dienst der Germaniawerft.

Seiner unermüdlichen Tatkraft gelang es, die im Laufe des Krieges hauptsächlich an den schnellaufenden U-Bootsmaschinen gesammelten Erfahrungen in hochwertigen Konstruktionen für ortfeste und Schiffsdieselmotoren zu verwerten. Er erkannte bald die Notwendigkeit, die noch wenig bekannten physikalischen und chemischen Vorgänge im Dieselmotor während der Verbrennung und die Zusammensetzung der Brennstoffe zu erforschen. Auf Grund dieser Arbeiten promovierte er im Sommer vergangenen Jahres zum Doktor-Ingenieur. In wissenschaftlichen Vorträgen und Aufsätzen ist der Verstorbene mehrfach an die Öffentlichkeit getreten, und es sei auf seine im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft Bd. 21 (1920) und in dieser Zeitschrift Bd. 67 (1923) S. 686 veröffentlichten Arbeiten hingewiesen.

Der frühe Heimgang Otto Alts hat große Hoffnungen vernichtet, die auf sein weiteres berufliches Wirken gesetzt waren, und die Germaniawerft erleidet dadurch einen schweren Verlust. Vorgesetzte, Mitarbeiter und Untergebene betrauern tief den Tod dieses ausgezeichneten Mannes. [M 302] Dr.-Ing. eh. C. Regenbogen.

Betriebserfahrungen mit Ölfeuerungsanlagen an Bord.

Von P. Müller, Hamburg.

Kurze Beschreibung der Ölfeuerungsanlagen der Dampfer der Hamburg-Südamerikanischen Dampfschifffahrts-Gesellschaft — Bericht über die in zwei Jahren gesammelten Betriebserfahrungen, Betriebsschäden und ihre Abstellung — Zusammenstellung der auf den Dampfern „Cap Norte" und „La Coruña" während der sechsten Reise erzielten Mittelwerte — Zusammenfassung von Hauptpunkten der Vorteile der Ölfeuerung an Bord gegenüber der Kohlenfeuerung.

Die Mehrzahl der mit Ölfeuerung betriebenen Kesselanlagen der Neubauten der Hamburg-Südamerikanischen Dampfschifffahrts-Gesellschaft arbeitet heute seit rd. 2 Jahren im Dauerbetriebe. Über die während dieser Zeit gesammelten Betriebserfahrungen werde ich Bericht erstatten. Die heutigen Ausführungen sind als Ergänzung eines am 23. November 1922 in der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Berlin gehaltenen Vortrages zu betrachten, in dem die auf unsern Dampfern „Cap Norte" und „Cap Polonio" eingebauten Ölfeuerungsanlagen eingehend beschrieben sind[1]).

Für diejenigen Herren, die diesen Vortrag nicht gehört haben oder nicht kennen, wird zwecks besseren Verständnisses eine kurz zusammengefaßte Darstellung des Inhalts einleitend vorausgeschickt und damit ein allgemeiner Überblick über eine Schiffsölfeuerungsanlage gegeben.

An beiden Schiffsseiten sind Ölübernahmestellen eingebaut, die die Anschlußstutzen für die von der festen oder schwimmenden Ölabgabestelle zur Verfügung zu stellenden Füllschläuche enthalten. Aus dem Ölübernahmestutzen fließt das Öl durch eine Fülleitung nach allen Heizölbunkern im Schiff. Die Ölbunker können mittels Dampfschlangen beheizt werden, um zähflüssiges Öl pumpfähig zu machen. Aus den Vorratbunkern wird das Öl durch sogenannte Umförder- oder Umwälzpumpen in die Tages- oder Setztanks gefördert, in denen bei mäßiger, durch Dampfbeheizung bis auf etwa 40 °C getriebener Vorwärmung etwa vorhandenes Wasser aus dem Heizöl ausgeschieden wird. Die Setztanks werden durch die Heizöl-Betriebspumpen entleert. Das Öl geht auf dem Wege nach der Pumpe durch ein Saugfilter, um vorhandene Unreinigkeiten auszuscheiden. Die Pumpe drückt das Öl durch einen Vorwärmer, wo es durch Beheizen mit Frischdampf auf die für eine wirtschaftliche Verbrennung nötige Temperatur gebracht wird. In der Druckleitung geht das Öl ferner durch ein Druckfilter zwecks nochmaliger Reinigung von fremden Bestandteilen und durch einen Windkessel, der die Aufgabe hat, den Öldruck an den einzelnen Düsen möglichst gleichmäßig zu erhalten. Aus der gemeinsamen Druckleitung wird das Öl durch Abzweigrohre den einzelnen Düsen zugeführt, in denen es unter einem Druck von etwa 5 bis 10 at zerstäubt wird, so daß es als ein fein verteilter Ölnebel in den Verbrennungsraum hineindringt. Die für die Verbrennung nötige Luft wird durch Gebläsemaschinen angesaugt, durch einen Luftvorwärmer gedrückt und durch gut einstellbare Öffnungen in den Verbrennungsraum hineingepreßt. Hier wird sie innig mit dem Ölnebel vermischt und dadurch bei richtiger Bemessung des Öldrucks sowie der Temperatur von Öl und Luft eine vollkommene, restlose Verbrennung des Heizöls erzielt.

Abb. 1 zeigt eine Ölübernahme in Hamburg. Ein Leichter der Mineralölwerke Rhenania A.-G. beliefert unsern Dampfer „Cap Polonio". Die einzige Verbindung zwischen Leichter und Schiff besteht in einem Schlauch von 150 mm l. W., durch den die Leichterpumpe das Heizöl in die Schiffsbunker hineinschafft. Die durch einen solchen Schlauch zu fördernde Ölmenge beträgt bei langsamem Arbeiten etwa 150 t/h. Wir haben jedoch in Las Palmas durch einen gleich großen Schlauch bis zu 400 t/h Heizöl übergenommen. Diese Ölmenge dürfte selbst für ganz große Anlagen genügen. Ich halte deshalb einen 150 mm im Lichten messenden Füllanschluß bei Bordanlagen für ausreichend.

Unsere eigenen Betriebserfahrungen beschränken sich auf mexikanisches und diesem in seiner Zusammensetzung ähnliches, venezolanisches Heizöl mit folgenden aus 5 Analysen errechneten mittleren Hauptdaten:

Hauptdaten für mexikanisches und venezolanisches Heizöl.

Heizwert 9700 kcal
Spez. Gewicht bei 15 °C 0,96
Flammpunkt im offenen Tiegel 115 °C
Gehalt an C 83,9 vH
„ „ H 11,9 „
„ „ S 4,2 „
Verkokungsrückstand 9,44 vH.
Asche . . . . 0,05 „
Wasser geringe Mengen
Asphalt geringe Mengen
Viskosität bei 75 °C . . 11

Es hat sich bewährt, daß wir besondere Dampfleitungen in die Ölübernahmeräume hineingeführt und den Schiffen Dampfschläuche an Bord gegeben haben, um im Bedarfsfalle durch Nachheizen der Füllung längsseits liegender Ölleichter ein glattes Bunkern sicherzustellen. Dies geschieht regelmäßig während der kalten Wintermonate, um das Öl dauernd auf einer Temperatur von etwa 30 °C zu halten. In Abb. 2 sehen wir im oberen Ölübernahmeraum den Anschlußstutzen für den Füllschlauch mit aufgesetztem Sicherheitsventil und darüber an der Schottwand die mit Ventilen absperrbaren Enden zweier Dampfrohrleitungen. Während die untere Leitung der Abgabe von Heizdampf dient, kann aus der oberen Leitung der Leichterpumpe der erforderliche Betriebsdampf durch einen Schlauch zugeführt werden. Auch dies ist wiederholt vorgekommen.

Die im unteren Ölübernahmeraum aufgestellten umschaltbaren Filter haben bei einzelnen Ölübernahmen größere Mengen von Fremdkörpern — in der Hauptsache Holzstücke, Faserstoffe und dergleichen — ausgeschieden und damit eine gute Vorreinigung des Öles vor Eintritt in die Schiffsrohrleitungen und Bunker bewirkt. Diese Filter sind im Interesse eines störungsfreien Betriebes notwendig. In Abb. 3 ist ein Filter, geöffnet, mit der hochgehievten kräftigen Filterpatrone dargestellt.

An den Fülleitungen unserer Schiffsbunker, Abb. 4, mit ihren Absperrorganen sind keinerlei Schäden aufgetreten. Ebenso haben sich die Ölbunker im allgemeinen bewährt. Die einzigen Klagen, die wir hier zu äußern haben, bestehen in Nietleckagen. Ölbunker bedingen in allen Fällen eine außerordentlich sorgfältige Nietung. Die Leckagegefahr wird mit zunehmender Öltemperatur größer; daher treten die häufigsten Leckagen in den Tagestanks auf, in denen das Öl bis auf etwa 40 °C vorgewärmt wird.

Die Entgasungs- und Überlaufleitung der Ölbunker ist auf einigen Neubauten unserer Flotte getrennt ausgeführt. Heute würden wir bei allen Neubauten diese Leitungen vereinigen, wie dies bereits auf unserem Dampfer „Cap Polonio" und auf den beiden letzten, von der Firma F. Schichau in Elbing und Danzig gelieferten Neubauten geschehen ist. In Abb. 5 sieht man die Überlauf- und Entgasungsleitung für die mittschiffs belegenen Bunker unserer Dampfer „Entre Rios" und „Tenerife", die am vorderen Kesselraumschacht verlegt ist und in ein vor dem Schornstein hochgeführtes Steigrohr ausmündet. Durch diese Rohre sind alle Öltanks dauernd mit der Außenluft verbunden; die Ölgase können ungehindert abziehen. Die Mündung des hochgeführten Entgasungsrohres liegt so hoch über Deck, daß die ab-



Abb. 1. Ölübernahme im Hamburger Hafen.

[1]) Jahrbuch d. Schiffbaut. Ges. Bd. 24 (1923) S. 172.

ziehenden Gase in keinem Teil des Schiffes durch den Geruch wahrgenommen werden können. Falls beim Füllen der Tanks ein Überlaufen eintreten sollte, kann das Öl durch das dicke Rohr in einen Überlauftank abfließen. Man sieht ferner in Abb. 5 an je einem Flansch aller Rohrleitungen einen Blindflansch, durch den jede Leitung in einfacher Weise einzeln abgesperrt werden kann. Diese Notwendigkeit tritt ein, wenn Reparaturen in einzelnen Bunkern auszuführen sind, während sich in den anderen noch Öl befindet, damit die Arbeiter durch die Ölgase nicht belästigt werden. Diese Fälle kommen so selten vor, daß es sich nicht verlohnen würde, für diesen Zweck Absperrschieber oder Absperrventile einzubauen. Der billigere Blindflansch hat sich im Betrieb als vollkommen ausreichend erwiesen.

An den mit Druckluft betriebenen Peilvorrichtungen, Abb. 6, unserer Bunker haben sich dort Nachteile bemerkbar gemacht, wo die Luftglocken nicht genau über dem Mittelpunkt der Bodenfläche angeordnet waren. Dies ist mit Rücksicht auf die Trimmlage des Schiffes notwendig, um durch die Peilung die mittlere Flüssigkeitshöhe im Bunker zu bestimmen. Sitzt die Luftglocke nicht genau in der Mitte, so sind die Peilungen bei kopf- oder steuerlastigem und etwas übergekrängtem Schiff unrichtig. Deshalb ist es zu empfehlen, außer der pneumatischen Peilvorrichtung Peilrohre vorzusehen, durch die man die pneumatischen Ölpeilungen jederzeit nachprüfen kann.

In der Heizanlage der festen Ölbunker, Abb. 7, kann man sich bei der Verwendung mexikanischen oder venezolanischen Öles in der vorerwähnten Zusammensetzung, d. h. bei den sogenannten leichteren Ölen, gegenüber den Ausführungen auf unseren Schiffen Beschränkung auferlegen. In diesem Winter vorgenommene Messungen haben ergeben, daß sich das Heizöl, das wir allgemein zu verbrennen pflegen, ohne Vorwärmung noch bei einer Temperatur von 6 °C aus den Vorratbunkern in die Tagestanks überpumpen ließ. Diese Möglichkeit wird natürlich nicht für zähflüssigere Heizölsorten bestehen. Es dürfte jedoch in allen Fällen genügen, für jede Bunkerabteilung eine Rohrschlange etwa in ½ m Höhe über dem Boden anzuordnen und das eigentliche Saugrohr mit einer Heizrohrschraube zu umgeben. Selbst das dickste Öl wird durch das Eigengewicht den durch Auspumpen im Boden entstehenden Leerraum wieder ausgleichen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, Verbindungen der Heizrohrschlangen in den Bunkern gänzlich zu vermeiden. Die Beseitigung von Leckagen an den Flanschen der Heizrohre ist sehr lästig und umständlich, da die Bunker nach der Entleerung erst ausgedampft werden müssen, bevor sie geöffnet, entlüftet und betreten werden können. Ferner muß die Entgasungsleitung des betreffenden Bunkers, wie schon vorher erwähnt, durch einen Blindflansch gegen die gemeinsame Entgasungsleitung abgeschlossen werden.

Wir haben verschiedentlich erlebt, daß das Heizöl geringe Mengen von Wasser enthielt. Dieses Wasser scheidet sich am besten in den Tagestanks aus, in denen das Öl bis auf etwa 40 °C erwärmt wird. Das Wasser sammelt sich, da es schwerer ist als das Öl, über dem Boden der Tagestanks an. Die am unteren Teil der Tagestanks vorgesehenen Entwässerungsventile (vergl. hierzu Abb. 4) waren deshalb durchaus am Platze. Das Wasser wurde in einfacher Weise durch Anlüften der Ventilkegel entfernt, die in dem Augenblick geschlossen wurden, wo nach dem Wasser Öl herauszulaufen begann. Das Wasser läuft in Schlammgräben, aus denen es über Bord in See gepumpt werden kann.

Bei unseren beiden letzten, von der Firma F. Schichau gelieferten Neubauten haben wir einen Teil des Öles im Doppelboden untergebracht. Die Doppelbodentanks enthalten keine besonderen Anwärmevorrichtungen für das Öl. Es ist lediglich ein



Abb. 2. Oberer Ölübernahmeraum.

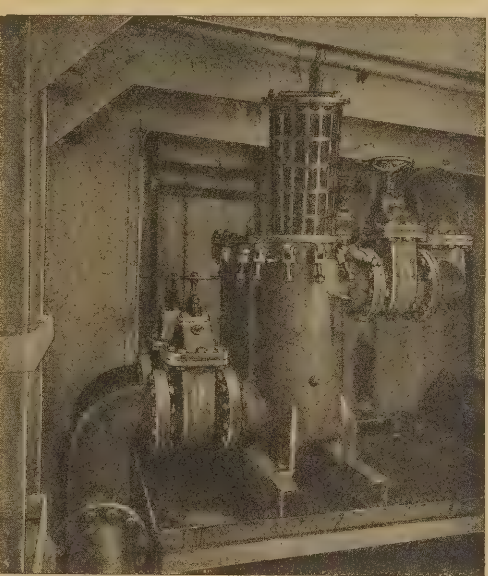


Abb. 3. Unterer Ölübernahmeraum.

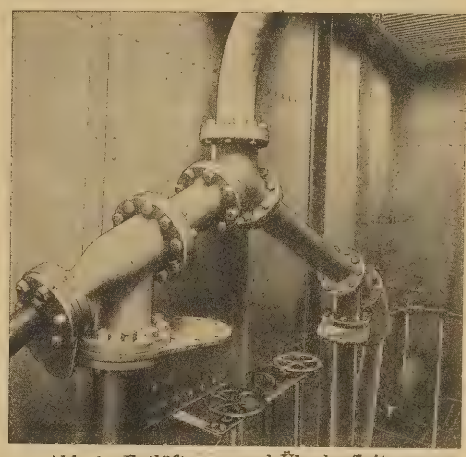


Abb. 5. Entlüftungs- und Überlaufleitung.

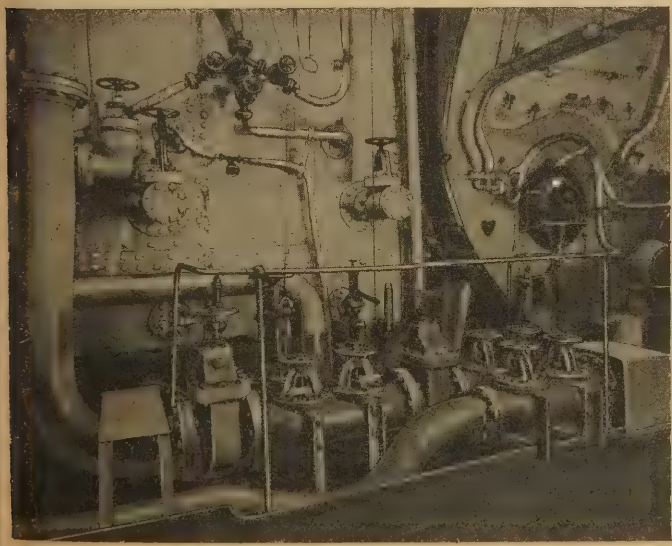


Abb. 4. Fülleitungen.

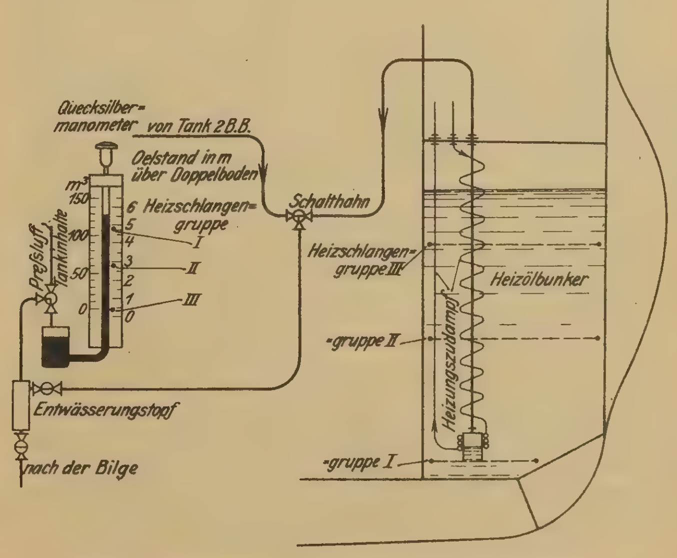


Abb. 6. Schematische Anordnung eines Pneumerkators.

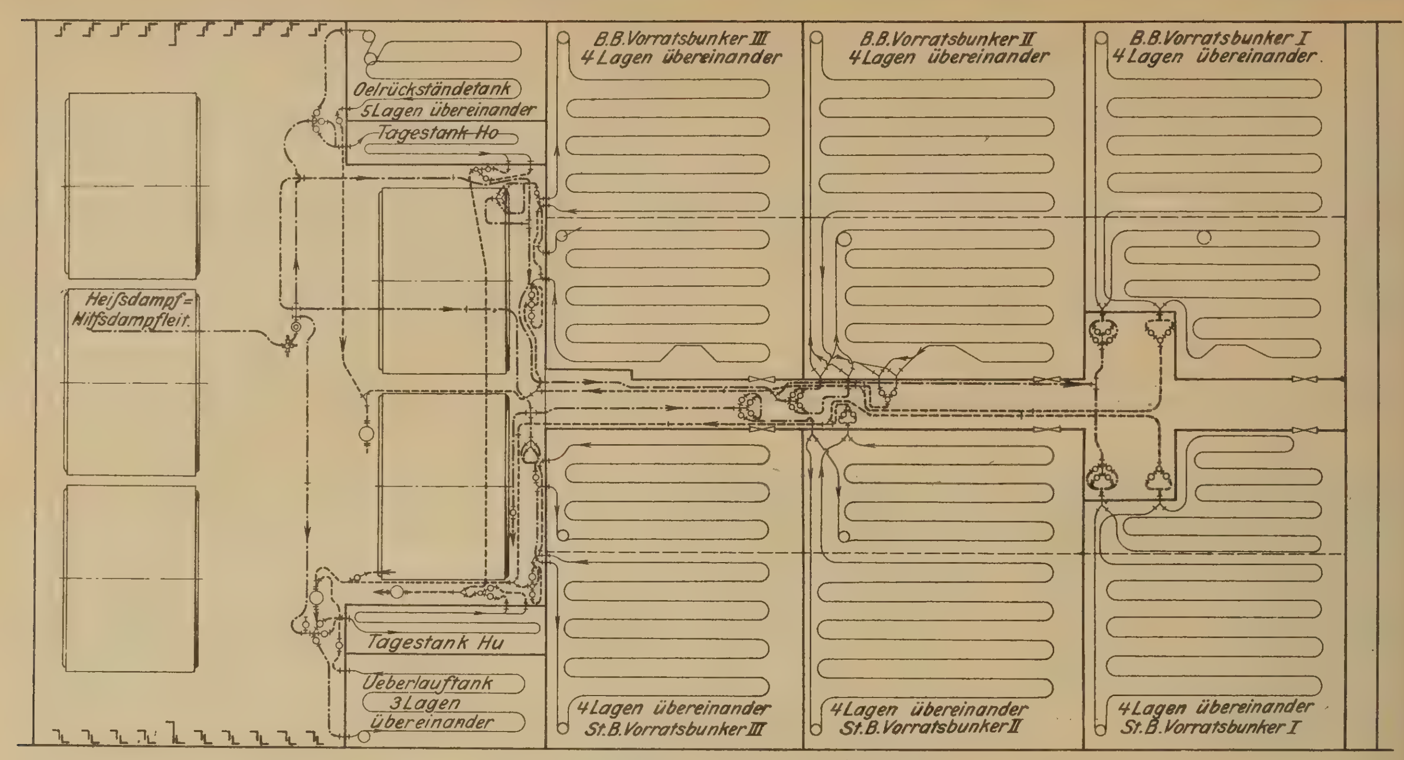


Abb. 7. Heizschlangen in den festen Ölbunkern.

Heizrohr in einigen Windungen um den Sauger herumgewickelt. Da wir auf unserer Fahrt durch die Tropen fahren, hat die Entleerung dieser Doppelboden-Bunker keinerlei Schwierigkeiten verursacht.

Die in den „Allgemeinen Grundsätzen für den Bau, die Ausrüstung und den Betrieb von Ölfeuerungsanlagen auf Schiffen" unter I, 2 bedingt zugelassenen Ölbunker über den Kesseln haben sich auf unseren Dampfern „España", „La Coruña" und „Vigo" im Betriebe gut bewährt. Bunker über den Kesseln erfahren eine gewisse natürliche Beheizung durch die Einwirkung der oben im Heizraum befindlichen warmen Luft. Nach an Bord vorgenommenen Messungen hat die Heizraumtemperatur im Bereiche dieser Bunkerwände im Höchstfalle 60 °C erreicht. Eine gefahrbringende Erwärmung des Öles ist durch die Einwirkung dieser Heizraumtemperatur nicht eingetreten, weil sie immer unter dem Flammpunkt aller verbrannten Heizölsorten blieb, dessen untere Grenze mit 65 °C festgelegt worden ist.

In den Bunkern ist das Heizöl erheblich ungefährlicher als Steinkohle. Wir haben in der Nachkriegszeit schon wiederholt Bunkerbrände auf mit Kohlen gefeuerten Schiffen, jedoch noch nie den Brand eines Heizölbunkers erlebt. In sicherheitstechnischer Beziehung ist also das Öl, soweit die Lagerung des Brennstoffes in den Bunkern in Betracht kommt, der Kohle überlegen.

Um das Öl seinem Verwendungszweck zuzuführen, wird es aus den Vorratsbunkern mit der Umförderpumpe in die Tagestanks geschafft. Ich möchte hierbei erwähnen, daß sich die in Abb. 8 dargestellte von den Atlas-Werken gelieferte Simplexpumpe mit Kugelventilen im Dauerbetriebe gut bewährt hat. Irgendwelche Störungen oder Reparaturen sind bisher an keiner dieser Pumpen vorgekommen.

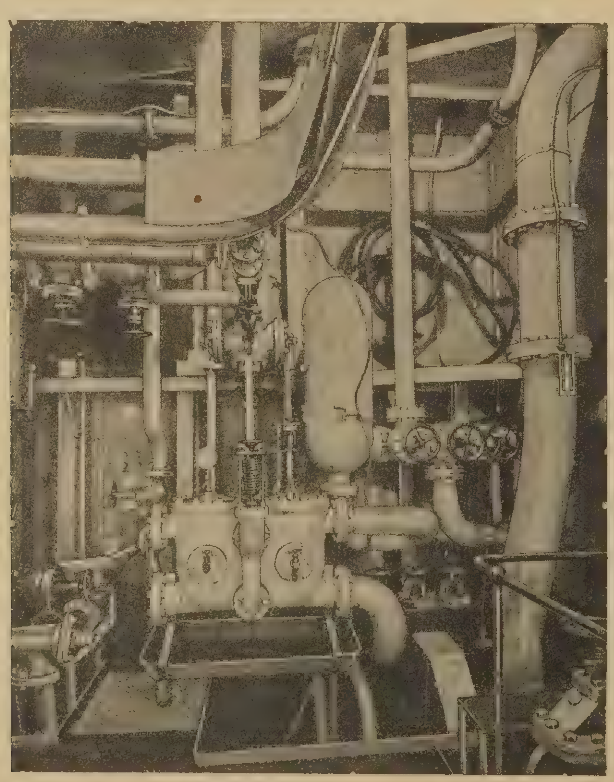


Abb. 8. Heizölförderpumpe.

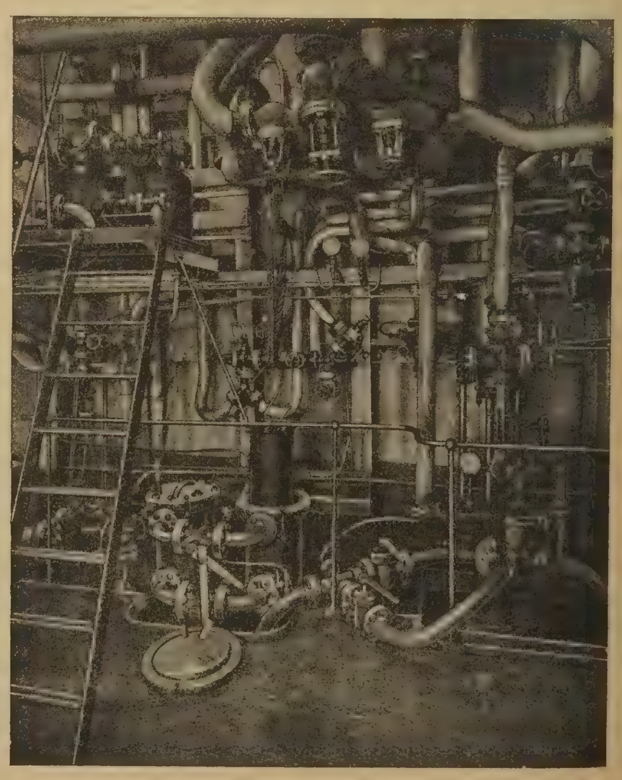


Abb. 9. Heizölleitung mit Saugfiltern.

Das Öl wird von Heizölbetriebspumpen aus den Tagestanks herausgesaugt und durchläuft auf seinem Wege nach der Pumpe ein Saugfilter. Abb. 9 zeigt, am Seil hängend, eine aus dem Filter herausgehobene Patrone. Wir haben die Filter im normalen Betrieb alle 8 bis 10 Tage gereinigt. Die Rückstände sind Werg sowie ein klebriger und dickflüssiger Schlamm. Die Filterpatronen werden mit Dampf durchgeblasen; die feinen Maschen der Haarsiebe werden jedoch beim Durchblasen mit Dampf nicht vollkommen sauber und müssen daher mit Petroleum nachgereinigt werden.

Wie schon vorher erwähnt, haben sich auch als Heizölbetriebspumpen am besten Simplex-Pumpen mit Kugelventilen bewährt. Die Kugelventile öffnen und schließen schneller als Ventile mit Tellern, Klappen oder Kegeln. Wir haben auf zwei großen Schiffen die ursprünglich eingebauten Klappenventile gegen Kugelventile ausgewechselt. Hierbei hat sich eine Herabsetzung der Doppelhubzahl von etwa 40 auf 12 in der Minute erzielen lassen. Die Pumpen haben bisher im Dauerbetriebe ohne Störung und ohne Reparaturen gearbeitet.

Unmittelbar hinter jeder Pumpe ist ein großer Windkessel eingebaut, um die durch die Pumpe verursachten Stöße auszugleichen und den Heizöldruck stets auf gleicher Höhe zu halten. Sie sehen in Abb. 10 einen derartigen Windkessel, der durch seine große Höhe bei verhältnismäßig kleinem Durchmesser auffällt. Für diese Formgebung war die Überlegung maßgebend, bei möglichst kleiner Berührungsfläche zwischen Öl und Luft ein ausreichend großes Luftkissen als Puffer zum Ausgleich der durch die Pumpe in der Heizöldruckleitung verursachten Stöße zu erhalten. Wir öffnen im Betrieb die Schnüffelventile der Heizölbetriebspumpe so weit, daß die Pumpe mit dem Öl so viel Luft ansaugt, wie durch Absorption im Windkessel verloren geht. Auf diese Weise läßt sich der Öldruck in der gesamten Heizöldruckleitung dauernd auf gleicher Höhe halten. Das bedeutet, daß das Öl nicht stoßweise, sondern immer gleichmäßig in die Flammrohre hineingeblasen wird, so daß sich der für eine wirtschaftliche Verbrennung nötige Beharrungszustand einstellen läßt.

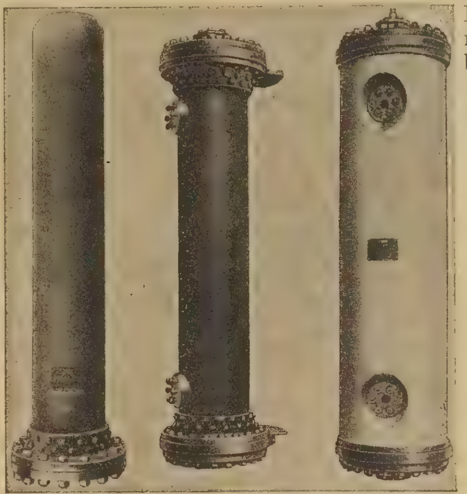
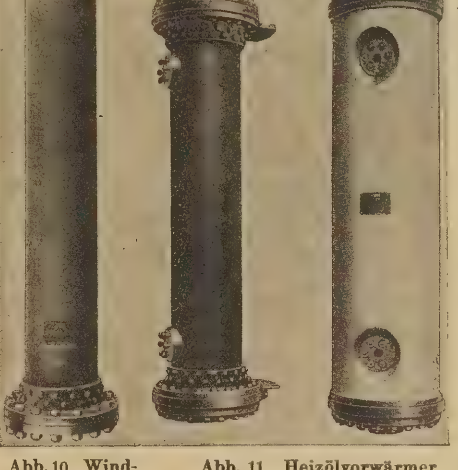



Abb. 10. Windkessel. Abb. 11. Heizölvorwärmer.

Vom Windkessel aus gelangt das Öl in den Ölvorwärmer. Es sind auf allen Schiffen 2 Ölvorwärmer eingebaut, von denen einer für die volle Aufrechterhaltung des Betriebes genügt. Ein solcher Heizölvorwärmer, Abb. 11, besteht aus einem Mannesmannrohr mit aufgenieteten Flanschen und auf diesen aufgenieteten starken Rohrplatten, die oben und unten die Ölvorlagen aufnehmen. In die Rohrplatten sind eine Reihe von Rohren von 16 mm l. W. und 2 mm Wandstärke eingewalzt. Die Rohre sind vor dem Einwalzen nach Schablonen flach gebogen. Die Pfeilhöhe des Bogens beträgt 30 mm. Sie sehen am Vorwärmer 2 Stutzen, an deren oberen das Dampfzuleitungs- und an deren unteren das Entwässerungsrohr für den Heizdampf angeschlossen ist. Das Öl tritt in die untere Vorlage, durchströmt die Rohre von unten nach oben und verläßt den Vorwärmer durch die obere Vorlage. Der Vorwärmer wird mit Hochdruckdampf von 14 bzw. 14½ at beheizt, steht also in seinem Dampfraum unter Kesselspannung. Der Öldruck in den Rohren schwankt zwischen 5 und 10 at.

Um das Öl dauernd in recht innige Berührung mit den von außen beheizten Rohrwänden zu bringen, sind schraubenförmig gewundene Leitbleche in die Rohre hineingesteckt. Es hat sich im Betriebe bewährt, daß der Dampfdruck im Heizraum des Vorwärmers stets höher gehalten wird als der Öldruck in den Rohren. Wir haben in einem Falle Leckagen im Vorwärmer gehabt. Es trat infolgedessen kondensierter Dampf durch undichte Einwalzstellen der Rohre mit in das Heizöl und gelangte so in die Brenner. An dem Erlöschen der Flamme wurde das Vorhandensein von Wasser im Öl sofort festgestellt. Der Vorwärmer wurde nach Inbetriebnahme des zweiten Vorwärmers ausgeschaltet und wieder in Ordnung gebracht. Wäre umgekehrt der Dampfdruck im Vorwärmer niedriger gewesen als der Öldruck, so hätte das Heizöl durch die Kondensatleitung mit in die Kessel gelangen und dort schwere Schäden verursachen können.

Zur laufenden Überwachung des Kondensats aus den Heizschlangen der Ölbunker und Tagestanks sowie aus dem Heizraum der Ölvorwärmer sind Beobachtungstanks vorgesehen, in denen das Kondensationswasser dauernd auf Ölbeimengungen hin beobachtet werden kann.

Wir hatten diese Beobachtungstanks im Kesselraum angeordnet, haben aber dann, nachdem die vorerwähnte Leckage eingetreten war, auf allen Schiffen auch noch einen im Sehbereich des wachhabenden Ingenieurs liegenden Beobachtungstank im Maschinenraum aufgestellt, über den das gesamte Kondensat aus den Heizschlangen der Ölbunker und Ölvorwärmer geleitet wird, bevor es der Speisepumpe zufließt.

Die eben beschriebenen Vorwärmer sind von der Firma Bohn & Kähler, Kiel, hergestellt und in je zwei Stücken auf 3 Schiffen unserer Flotte eingebaut. Diese Vorwärmer haben sich gut bewährt. Es sind bisher in der zweijährigen Betriebsdauer keinerlei Schäden aufgetreten. Die Vorwärmer sind noch nicht einmal zu Überholungszwecken geöffnet worden. Auf zwei weiteren Dampfern sind Vorwärmer ähnlicher Ausführung eingebaut, jedoch mit dem Unterschied, daß die Heizöl führenden Rohre eine lichte Weite von nur 10 mm bei einer Wandstärke von 1,5 mm haben. Auch diese kleineren Rohre sind mit Leitblechen besetzt. Die Vorwärmer mit den kleineren Rohren mußten wiederholt geöffnet und die Rohre gereinigt werden. Zwei Vorwärmer, deren Rohre sich zugesetzt hatten, haben wir neu berohren lassen. Es empfiehlt sich daher, bei derartigen Vorwärmern Rohre von mindestens 16 mm l. W. und 2 mm Wandstärke einzubauen.

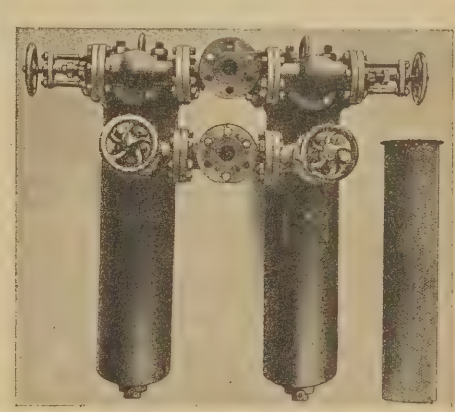


Abb. 12. Druckfilter.

Auf dem Wege vom Vorwärmer nach den Brennern tritt das Öl zwecks nochmaliger Reinigung durch ein Druckfilter, Abb. 12, das sich von dem Saugfilter in der Hauptachse mit Rücksicht auf den hohen Druck durch kräftigere Bauart, Ventile als Absperrorgane und ferner dadurch unterscheidet, daß das Sieb feinere Maschen aufweist und infolgedessen fremde Beimengungen, die im Saugfilter noch nicht ausgeschieden wurden, aus dem Öl entfernt.

Aus dem Druckfilter tritt das Öl durch die Zuführleitung nach den einzelnen Brennern und Düsen.

Es ist immer von Vorteil, bei einer Mehr-Kesselanlage die Druckleitung nach den einzelnen Brennern so kurz wie möglich zu halten und die Abzweige der Druckleitung nach den einzelnen Kesseln, soweit dies geht, möglichst gleich zu machen. Wir hatten zuerst bei einer Anlage, bei der drei Zylinderkessel nebeneinander aufgestellt waren, die Heizöl-Druckleitung von der einen Schiffseite bis nach der anderen geführt. Das Ergebnis

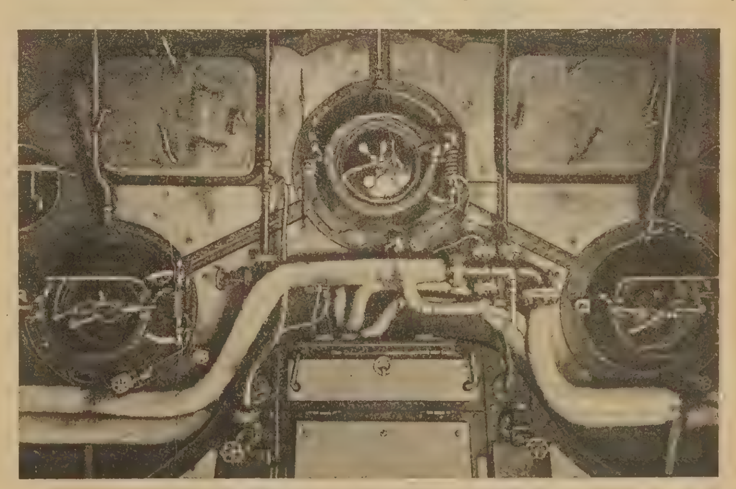


Abb. 13. Doppelte Heizöl-Druckleitung.

bestand darin, daß der Öldruck bei dem letztangeschlossenen Kessel wesentlich niedriger war, als bei dem zuerst und an zweiter Stelle angeschlossenen. Dies gab Veranlassung zu unterschiedlicher Beanspruchung der Kessel. Es war unmöglich, den für die wirtschaftliche Verbrennung erforderlichen Öldruck bei allen Feuern einheitlich einzustellen. Wir sind deshalb mit der Heizöl-Druckleitung von der Mitte aus an die einzelnen Kessel herangegangen und haben damit einen möglichst gleichen Druck in der Heizöl-Druckleitung für alle Kessel erzielt.

Wir haben auf allen ölgefeuerten Schiffen eine doppelte Heizöl-Druckleitung, Abb. 13, vorgesehen, um den Gedanken einer vollwertigen Betriebsreserve, der in den für die Ölfeuerung erforderlichen Apparaten verwirklicht ist, restlos durchzuführen. Wir haben bisher im Betrieb zwei Fälle erlebt, die die Verlegung doppelter Druckrohre gerechtfertigt erscheinen lassen. In beiden Fällen waren Packungen aus einem Flansch der Heizöl-Druckleitung herausgeflogen. Durch Anstellen der zweiten Heizöl-Druckleitung konnte der Betrieb voll aufrecht erhalten werden. Durch entsprechende Absperrorgane der nach den einzelnen Kesseln führenden Zweigrohre ist Vorsorge getroffen, daß auch bei Ausfall einer Leitung sämtliche Brenner mit Heizöl versorgt werden können.

Abb. 14 bis 22. Ölbrenner von Blohm & Voß.

Aus der Heizöl-Druckleitung gelangt das Öl nach dem Durchfließen der vor jedem Flammrohr angeordneten Schnellschlußventile in die Brenner. Wir haben auf unseren Schiffen Vulcan-Brenner, Blohm & Voß-Brenner sowie Brenner der Firma F. Schichau, die von Moll, Neubeckum, ausgeführt sind, erprobt.

Wir können heute sagen, daß sich diese drei verschiedenen Systeme gut bewährt haben. Abb. 14 bis 22 zeigt den Brenner der Firma Blohm & Voß. Das Öl erhält durch einen Zerstäuberkegel eine schraubenförmige Bewegung und wird dann durch die zentral gelegene Bohrung einer Lochscheibe in das Flammrohr gepreßt. Beim Durchfließen der Lochscheibe wird das Öl in sehr kleine Teile zerrissen, so daß es in Form eines Nebels in den Verbrennungsraum hineingelangt. Für eine gute Zerstäubung ist eine durchaus sorgfältige Ausbildung aller einzelnen Teile, aus denen sich der Brenner aufbaut, und ein gutes Zusammenpassen dieser Teile notwendig. Es ist besonders darauf zu achten, daß der Zerstäuberkegel und die Bohrung der Zerstäuber-Lochscheibe genau zentral zur Brennerachse liegen.

Die zur Verbrennung erforderliche Luft wird auf unsern Schiffen von einem Kesselgebläse erzeugt, durch einen im Rauchfang angeordneten Luftvorwärmer vorgewärmt und hierauf in einen vor der Kesselfront angebrachten Vorbau geführt. Aus diesem Vorbau gelangt die Luft durch besondere Leitapparate in den Verbrennungsraum, wo sie sich mit dem Ölnebel vermischt und hierdurch die Voraussetzung für die Verbrennung schafft.

Für die vollkommene Verbrennung von Heizöl lassen sich für den Betrieb keine allgemein gültigen Regeln aufstellen. Jede Ölfeuerung bedingt die Einstellung einer ganz besonderen Vorwärmungstemperatur und eines bestimmten Öldrucks.

Allgemein läßt sich sagen, daß die Vorwärmtemperatur mit zunehmender Zähflüssigkeit des Öles zu erhöhen ist. Gute Ergebnisse haben wir bei der Verbrennung mexikanischen Öles mit Temperaturen des Öles von 115 bis 120 °C an der Düse und Öldrücken bis zu 10 at an der Düse erzielt.

Die Düsengröße ist so zu wählen, daß bei Aufrechterhaltung der richtigen Vorwärmtemperaturen und des Heizöl-Betriebsdruckes der Dampfdruck in den Kesseln auf der vorgeschriebenen Höhe gehalten werden kann.

Koksbildung tritt bei unbeendeter Verbrennung auf, und zwar besonders dann, wenn der in das Flammrohr hineingeblasene Ölnebel mit kälteren Wandungen in Berührung kommt. Der Grund hierfür liegt in der Hauptsache in der Verstopfung von Düsen. Der Koks wird mit einer kleinen Krücke weiter in das Flammrohr hineingeschoben, wo er mit verbrennt. Die beste Abhilfe gegen Koksbildung besteht in der regelmäßigen, alle vier Stunden vorzunehmenden Auswechslung der Düsen. Die ausgewechselten Düsen werden mit Dampf durchgeblasen und sind dann wieder betriebsfertig.

Eine gute Verbrennung läßt sich nur bei ruhiger Luftzufuhr und richtiger Mischung des Brennstoffnebels mit der Verbrennungsluft erzielen.

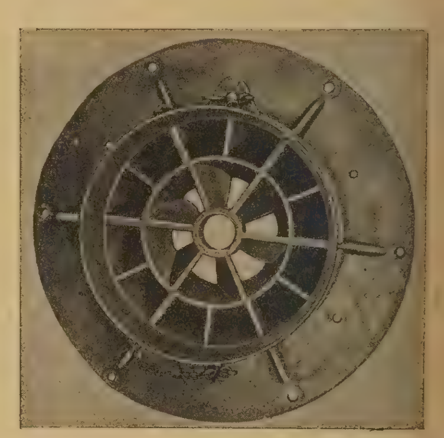


Abb. 23. Luftleitapparat auf dem Dampfer „Entre Rios".

Die Luft muß von hinten an den einen Hohlkegel darstellenden Ölnebel herangeführt werden. Um diesen Brennstoffnebel an allen Stellen gleichmäßig mit der Verbrennungsluft zu beaufschlagen und zu durchdringen, ist es erforderlich, die Luft unmittelbar vor der Einführung in das Flammrohr in einen toten Raum zu bringen, in dem etwa vorhandene Strömungen vernichtet werden. Diese Luftströmungen entstehen bei Anlagen mit künstlichem Zug in dem für alle Flammrohre eines Kessels gemeinsamen Luftsammelraum dadurch, daß dieser durch vom Druckschacht der Gebläsemaschine abgezweigte Einzelkanäle aufgeladen wird.

Diese Überlegung hat zur Konstruktion eines Ölfeuerungssystems geführt, das ich für zwei im letzten Jahre gelieferte Neubauten in gemeinsamer Arbeit mit der Firma F. Schichau in Elbing ausgebildet habe, Abb. 23.

Die Luft strömt von hinten durch 2 Ringkanäle in das Flammrohr ein. Der innere Kanal enthält 6, der äußere 12 geneigt stehende Leitbleche.

Die Verbrennungsluft erhält beim Durchströmen dieser Kanäle durch Entlangstreichen an den Zwischenwänden zwangläufig eine Spiralbewegung. Die inneren Luftbänder durchdringen von hinten den in der Mitte naturgemäß dichteren Ölnebel, während die äußeren Luftbänder sich um das Ölluftgemisch gewissermaßen herumwickeln. Durch diese Art der Luftführung werden die Berührungsflächen zwischen Ölnebel und Luft vergrößert.

Um eine gleichmäßige Verteilung der Verbrennungsluft auf die ganze Ringkanalfläche zu erzielen, wurde der Luftleitapparat in ein Rohr eingebaut, das hinten bis in einen durch den Türrahmen gebildeten Hohlraum hineinragt; s. Abb. 24. Die in dem vor dem Kesselboden liegenden Luftraum unvermeidlichen Strömungen werden durch dieses Hüllenrohr vernichtet. Die Verbrennungsluft muß vor Eintritt in den Luftleitapparat in den durch den Türrahmen gebildeten, nischenartig zurückliegenden toten Raum hineintreten, aus dem die Flamme im Be-

trieb ihren für die Verbrennung erforderlichen Luftbedarf laufend entnimmt.

Wie Abb. 24 zeigt, sind die Drosselklappen und der Luftschieber des Feurungsgeschränkes vollkommen geöffnet. Der Luftlauf wird für die beiden Flammrohre eines Kessels durch eine in den oberen Windkanal eingebaute Klappe geregelt, die von der Heizraumplattform aus durch einen Handhebel und ein Gestänge sehr fein eingestellt werden kann. Während des Betriebes wird die Luftzufuhr allmählich so weit abgedrosselt, bis in den Abgasen bei der Orsatanalyse Kohlenoxyd nachgewiesen wird. Durch eine geringe Vermehrung der Luftzufuhr läßt sich dann die für eine vollkommene Verbrennung gerade nötige Luftmenge einstellen. Für die Feststellung dieses Beharrungszustandes genügt die Beobachtung des Schornsteinrauches. Bei richtiger Einstellung der Verbrennungsluft verläßt ein schwach grau gefärbter Rauch den Schornstein.

Für die Behandlung des Öles ist zu beachten, daß von der im Tagestank und Vorwärmer durch Beheizung erzielten Temperatur auf dem Wege nach den Brennern möglichst wenig verloren geht. Zu diesem Zweck ist die gesamte Heizölleitung einschließlich der Filter und aller Armaturen sorgfältig zu bekleiden und nicht unter den Lüfterrohren anzuordnen, damit nicht durch kalte Luft von oben Abkühlung eintritt. Das Öl darf nicht zu weit vorgewärmt werden, weil dann eine Entgasung eintritt und die asphaltartigen Stoffe beginnen, sich in fester Form auszuscheiden. Dies kann zu Verstopfungen der nach den einzelnen Brennern führenden dünnen Abzweigrohre führen. Das Erhärten des Öls in der Druckleitung tritt auch sehr leicht bei plötzlichem Abstellen einzelner Kessel ein. Es ist nötig, das Öl in den abgestellten Zweigleitungen bis an das Schnellschlußventil so lange umzupumpen, bis es auf die Temperatur des Heizraumes heruntergekühlt ist.

Verstopfte Rohre werden, soweit es möglich ist, mit Dampf durchgeblasen und gereinigt; sonst müssen sie erneuert werden.

Umgekehrt wird das Öl vor Inbetriebnahme der Feuer so lange bis zum Schnellschlußventil in Umlauf erhalten, bis es die Verbrennungstemperatur erreicht hat.

Sehr wichtig ist ferner die Vorwärmung der Verbrennungsluft. Es ist anzustreben, die Luft möglichst auf die gleiche Temperatur vorzuwärmen, mit der das Heizöl in den Brenner hineingebracht wird, damit sich Ölnebel und Luft möglichst ruhig, ohne Volumenänderungen miteinander mischen können. Man kann die für die Ölvorwärmung als günstig ermittelte Temperatur von etwa 120 °C in dem bekannten Luftvorwärmer der Druckluftanlagen auch für die Verbrennungsluft erreichen, wenn man der Luft Gelegenheit gibt, das ganze Rohrbündel zu bestreichen. Das Einsetzen von Leitblechen in die Luftvorwärmerrohre, das ich in einigen Fällen zur Steigerung der Luftvorwärmungstemperatur versucht habe, ist nicht zu empfehlen, weil sich im Dauerbetrieb ein langsames Verstopfen der mit Leitblechen beschickten Rohre durch Rußablagerungen nicht vermeiden läßt.

Für die Bedienung der Feuer sind beim Anzünden folgende Grundregeln maßgebend:

1) Luftschieber öffnen, um die Feuerzüge gut durchzulüften;
2) Zündfackel einführen;
3) Öl durch Öffnen des Schnellschlußventils anstellen.

Das vorzeitige Anstellen der Luft soll im Flammrohr und in den Feuerzügen befindliche Ölgase herausblasen, damit beim Hineinbringen der Zündfackel keine Explosionen auftreten, die das Bedienungspersonal schwer gefährden können.

Beim Abstellen einzelner Brenner ist umgekehrt zu verfahren, d. h. also erst die Öl-, und dann die Luftzufuhr abzusperren.

Bei richtiger Einstellung verbrennt das Öl mit weicher, weißer Flamme, ohne Rückstände zu hinterlassen. Leichter, grauer Rauch verläßt den Schornstein. Zuviel Luft ist an dem Auftreten vieler Sternchen in der Flamme sowie an weißgefärbtem Rauch erkennbar. Übermäßige Luftzufuhr ist sehr unwirtschaftlich und muß schnellstens beseitigt werden.

Rußablagerungen treten im Betrieb als sofortige Begleiterscheinung von Luftmangel auf. Die Rauchfangtüren der vorderen Verbrennungskammer sowie die Blechwände des Schornsteinhalses beginnen lebhaft zu vibrieren, eine Folge der hier nachträglich explosionsartig verbrennenden Kohlenstoffgase. Gleichzeitig tritt dichter, schwarzer Rauch aus undichten Stellen der Rauchkammertürverschlüsse. Die Feuerzüge müssen dann sogleich mittels Dampfstrahl-Rauchrohrreiniger mit Dampf durchgeblasen werden. Bei ordnungsmäßigem Dauerbetrieb genügt ein einmaliges Durchblasen innerhalb 24 Stunden. Aus dieser Darlegung folgt auch, wie notwendig eine sorgfältige Abdichtung der Rauchfangtüren sowie des ganzen Rauchfanges ist.

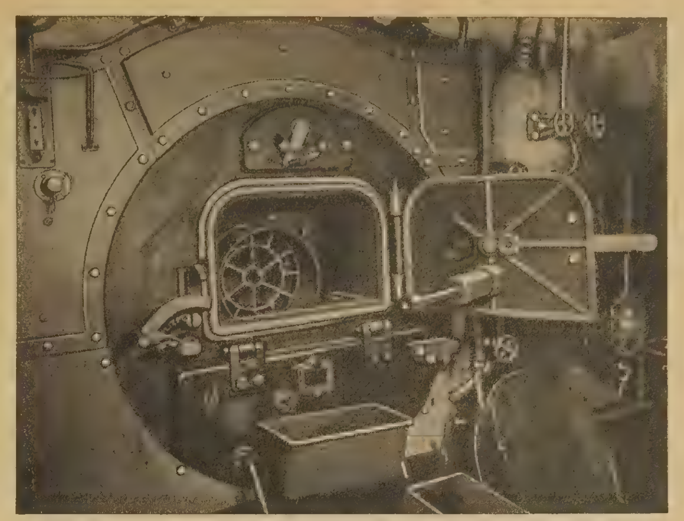


Abb. 24. Ölfeuerungsgeschränk auf Dampfer „Entre Rios".

Man hat früher vielfach geglaubt, daß für eine vollkommene Verbrennung des Öles eine gewisse Ausmauerung der Flammrohre nötig ist. Herr Direktor Goos und ich sind dieser Auffassung in der Erörterung und im Schlußwort zu meinem vor 1½ Jahren gehaltenen Vortrag entgegengetreten. Ich kann meine damaligen Ausführungen heute nur unterstreichen. Am besten läßt man die Flammrohre und die hintere Rauchkammer einschließlich der beide verbindenden Nietnaht ohne jedes Mauerwerk und schützt nur die in der hinteren Rauchkammer sitzenden Stehbolzenmuttern durch Chamottekapseln.

Zu empfehlen ist nur eine Mauerung am vorderen Flammrohrende in der in Ab. 25 gezeigten Form, die durch Ausstrahlung nach dem Heizraum entstehende Wärmeverluste vermeidet und überdies eine verhältnismäßig kühle Heizraumtemperatur sicherstellt.

Es hat sich herausgestellt, daß man bei ölgefeuerten Kesseln nicht so hohe Heißdampftemperaturen erreicht, wie bei kohlengefeuerten Kesseln. Der Grund liegt darin, daß bei Ölfeuerung

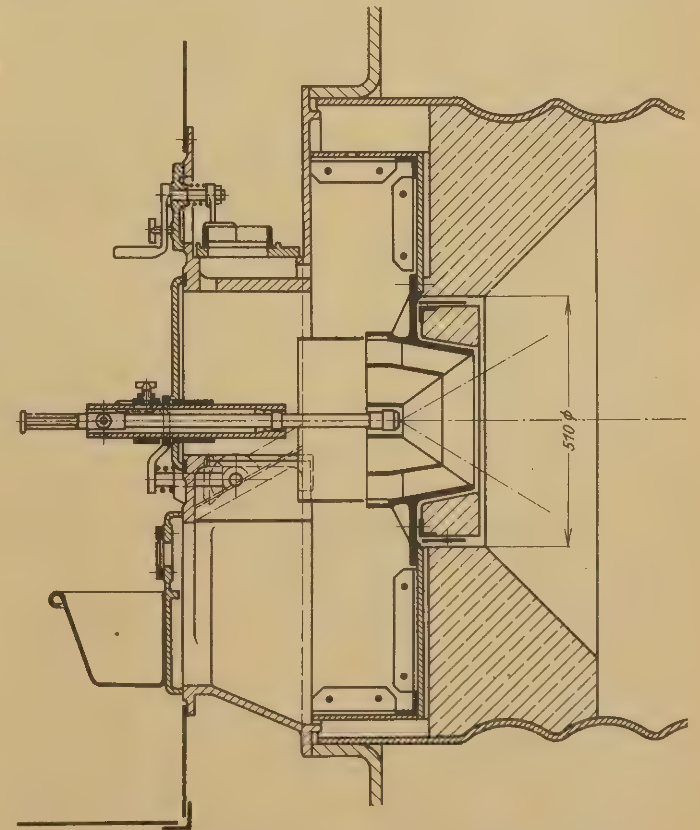


Abb. 25. Flammrohr-Ausmauerung auf dem Dampfer „Entre Rios".

die Verbrennungstemperatur höher ist als bei Kohlenfeuerung und daß die durch die Verbrennung im Flammrohr erzeugte Wärme über den ganzen Umfang desselben in das Kesselwasser einströmen kann, während bei Kohlenfeuerung rechnungsmäßig die Hälfte, in Wirklichkeit wohl kaum mehr als ein Drittel des Flammrohres als Heizfläche zur Auswirkung gelangt. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die Verbrennung des Öls im vordersten Drittel des Flammrohres beendet ist. Die Folge ist, daß sich bei Ölfeuerung die Heizgase schon wesentlich mehr abgekühlt haben, wenn sie mit den Überhitzerrohren in Berührung treten. Man ist also gezwungen, die Überhitzerheizfläche ölgefeuerter Kessel gegenüber den bisher für Kohlenfeuerung üblichen Werten zu vergrößern.

Das Öl ist, wie ich schon vorher ausgeführt habe, in den Bunkern sowie auch in den Tagestanks und auf seinem Wege aus diesen bis in den Heizölvorwärmer ungefährlich, weil die Öltemperatur unter dem Flammpunkt bleibt.

Gefährlich wird das Öl durch die im Heizölvorwärmer erfahrene Temperaturaufnahme. Es ist deshalb nötig, die Heizöl-Druckleitung vom Vorwärmer bis an die Brenner auf das sorgfältigste sowie in allen Teilen gut zugänglich zu verlegen.

Auf der Überführungsfahrt des Dampfers „Entre Rios" von Danzig nach Hamburg erlebten wir einen Ölbrand im Heizraum dadurch, daß ein Heizer eine neu eingesetzte Düse mit der Knebelschraube nicht genügend befestigt hatte. Unmittelbar nach dem Anzünden flog die Düse durch den Öldruck nach hinten heraus, und das brennende Öl lief in den Heizraum. Der Brand wurde sofort mit einem chemischen Handfeuerlöscher gelöscht und das Öl durch das Schließen des Schnellschlußventiles abgestellt. Der betreffende Heizer kam zum Glück mit dem Schreck davon.

Die leitenden Ingenieure unserer ölgefeuerten Dampfer sind auf Grund dieses Vorkommnisses angewiesen, ihr Personal dahin zu unterrichten, daß jede neu eingesetzte Düse vor dem Anzünden durch kurzes Öffnen des Schnellschlußventiles auf Dichtigkeit hin geprüft wird.

Das Auslöschen des Feuers auf dem Dampfer „Entre Rios" gelang deshalb so schnell, weil zwei chemische Handfeuerlöscher unmittelbar neben der Heizraumtür an dem den Maschinen- und den Kesselraum trennenden Schott aufgehängt und deshalb sofort zur Hand waren.

Die zum Löschen bestimmten Sandvorräte sind am besten in drei in der Mitte und an beiden Seiten des Heizraumes aufgestellten eisernen Kästen bereitzuhalten.

Um bei entstehendem Feuer den im Kesselraum befindlichen Leuten auf jeden Fall die Möglichkeit zur Rettung zu geben, haben wir auf beiden Schiffsseiten eiserne Leitern aufgestellt, die nach der über den Kesseln befindlichen Gräting hinaufführen und damit die Möglichkeit des Entweichens nach dem Maschinenraum gestatten.

Empfindliche Betriebsschäden erlitten wir zu Anfang vorigen Jahres an Flammrohren ölgefeuerter Kessel auf drei Dampfern unserer Flotte. Es wurden Einbeulungen festgestellt. Die Beulen wurden ausgedrückt. Einige Flammrohre wurden erneuert.

Die Beulen saßen auf der oberen Hälfte der Flammrohre. Beim Befahren der Kessel zeigte sich laut Bericht von Besichtigern in der Höhe des normalen Wasserstandes ein geringer Fettrand. Auf den Flammrohren befand sich in einem Fall eine 0,5 mm dicke Kesselsteinschicht, in den beiden andern Fällen waren die Flammrohre sauber. Irgend eine feste Ablagerung war auf ihnen nicht vorhanden, auch konnten keine Ölspuren auf den Flammrohren festgestellt werden. Wir haben dann Untersuchungen der bei der Reinigung der Kessel vorgefundenen Rückstände durch den beeidigten Handelschemiker Dr. Grethe vornehmen lassen.

Die in Höhe des normalen Wasserstandes zwischen den Nieten der Kesselböden entnommenen dunkelbraunen, pulvrigen Proben ergaben in zwei Fällen einen Ölgehalt von 39,8 bzw. 34,7 vH, die von dem Kesselsteinbelag der Flammrohre entnommenen Proben einen Ölgehalt von 3,4 vH.

Ähnliche Flammrohrschäden hat die Hamburg-Amerika-Linie an den ölgefeuerten Kesseln ihrer Dampfer „Bayern" und „Württemberg" erlebt.

Damit war entgegen der übereinstimmenden Ansicht erfahrener Schiffsingenieure der Beweis erbracht, daß trotz dreifacher Filterung des Abdampfes bzw. des Speisewassers durch Abdampfentöler, Koks- und Patronenfilter Öl mit dem Speisewasser in die Kessel gelangt sein mußte, und daß die restlose Entfernung des Öles aus dem Speisewasser durch Filtrierung nicht möglich ist.

Die entstandenen Flammrohrschäden haben wir auf das Eindringen von Öl in die Kessel zurückgeführt. Um das mit dem Speisewasser in die Kessel gelangende Heißdampfzylinderöl unschädlich zu machen, setzen wir in zweitägigen Zwischenräumen durch die Hilfsspeiseleitung jedem Kessel eine im Betrieb zu ermittelnde Menge Seewasser zu, in dem vorher 3,3 kg kalzinierte Soda auf je 1 m³ Seewasser aufgelöst werden. Diese Menge Soda reicht nach vorgenommenen Untersuchungen gerade aus, um die im Seewasser enthaltenen gefährlichen Kesselsteinbildner, schwefelsaure Magnesia und schwefelsauren Kalk, in kohlensaure umzuwandeln.

Der kohlensaure Kalk (Kreide) fällt sehr schnell aus dem Wasser aus und bildet keinen harten Kesselstein, sondern einen losen Kesselschlamm, der auf den Boden des Kessels niedersinkt. Der kohlensaure Kalk hat die Eigenschaft, die mit dem Speisewasser in den Kessel gelangten Ölspuren unschädlich zu machen, dadurch, daß er die einzelnen Fetteilchen mit einer Trennungsschicht umgibt und ihre Vereinigung unmöglich macht. Hierdurch wird hauptsächlich verhindert, daß sich die Ölteilchen auf den Flammrohren festsetzen, allmählich zu Blasen erweitern und den Durchgang der Verbrennungswärme an das Kesselwasser dauernd erschweren, so daß schließlich im Bereiche der Ölblasen ein örtliches Erglühen des Flammrohrbleches eintritt und Beulenbildung erfolgt.

Dieser Seewasserzusatz mit Soda hat sich gut bewährt. Der Salzgehalt im Kesselwasser steigt auf der Ausreise nach Südamerika bis auf höchstens 2 vH. Vor Antritt der Heimreise wird das Kesselwasser erneuert, so daß die Kessel bei der Rückkehr des Schiffes nach Hamburg wieder einen Salzgehalt von höchstens 2 vH aufweisen. Die bei der Reinigung im Kessel vorgefundenen Rückstände bestehen aus losem Kesselschlamm und einem geringen mürben Niederschlag auf den Flammrohren, der leicht zu entfernen ist. Die laufend durchgeführten Aufmessungen der Flammrohre zeigen keine Formveränderungen. Seit 14 Monaten sind keine Durchbeulungen an den Flammrohren mehr vorgekommen.

Einige Betriebsergebnisse mögen jetzt noch folgen:

Sechste Reise unsres Dampfers „Cap Norte".

Im Betrieb: 5 Kessel mit 15 Brennern, Lochscheiben je 1,8 bzw. 2 mm Dmr.

Heizöldruck vor der Düse 9 bis 10 at.

Heizöltemperatur vor der Düse 120 °C.

Druck der Verbrennungsluft vor der Düse 32 mm W.-S.

Temperatur der Verbrennungsluft vor der Düse 115 bis 120 °C.

Temperaturen der Abgase im Schornstein 230 bis 260 °C.

Indizierte Leistung beider Hauptmaschinen im Reisedurchschnitt 6728 PS.

Brennstoffverbrauch im Reisedurchschnitt auf einen Seetag 70,09 t.

Brennstoffverbrauch einschließlich aller Hilfsmaschinen und Dampfverbraucher im Schiff 0,434 kg/PS$_i$h.

Temperatur des Speisewassers 120 °C.

Temperatur des Heißdampfes vor dem Hauptabsperrventil 305 bis 315 °C.

Aus der Zusammenstellung der Mittelwerte auf S. 449 geht die Leistungsfähigkeit ölgefeuerter Kessel im Dauerbetriebe hervor. Mit einem Heizölverbrauch von 195 kg/h eines Flammrohrs werden in der „Cap Norte"-Kesselanlage 28 kg Dampf auf 1 m² Heizfläche und 1 h erzeugt, ein Ergebnis, das bei Kohlenfeuerung nicht zu erreichen ist.

Die auf der Überführungsfahrt des Schichau-Neubaues „Entre Rios" von Danzig nach Hamburg ausgeführten Orsatanalysen ergaben:

CO_2-Gehalt	13,6 vH
O-Gehalt	2,4 vH
CO-Gehalt	0 vH

Der Luftüberschuß betrug demnach nur 13 vH,
die Abgastemperaturen im Schornstein 200 bis 220 °C.

Dieser Frachtdampfer hat einen Heizölverbrauch von 0,39 kg auf 1 PS$_i$h der Hauptmaschine, berechnet für den Gesamtdampfverbrauch von Haupt- und Hilfsmaschinen.

Zum Schluß seien einige Zahlen aus dem letzten Jahresbericht von Lloyds Register of Shipping gebracht, die der Zeitschrift „Schiffbau" vom 28. November 1923 entnommen sind:

Schiffe mit Einrichtungen für Ölfeuerung.

Juli 1914	1 310 209 Br.-R.-T.
Juli 1923	15 792 419 Br.-R.-T.

Mittelwerte.

	Dampfer „Cap Norte" Sechste Reise	Dampfer „La Coruña" Sechste Reise
Mittlere indizierte Maschinenleistung während der Rundreise . . . . . PS_i	6 728	3 325
Dampfverbrauch der Hauptmaschine . . . . kg/PS_ih	4,5	4,65
$\frac{\text{Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen}}{\text{Dampfverbrauch der Hauptmaschine}}$	0,26	0,26
Gesamtdampfverbrauch . . . . . kg/h	38 148	19 481
Gesamtdampfverbrauch, bezogen auf 1 PS_i der Hauptmaschine . . kg/PS_ih	5,67	5,86
Heißdampftemperatur am Kessel . . °C	335	315
Heißdampftemperatur an der Maschine „	310	290
Temperatur des Speisewassers . . . „	120	120
Mittlerer Kesseldruck . . . . at	14,5	14
Gesamtheizfläche der Kessel . . . m²	1 360	710
Erzeugter Dampf auf 1 m² Heizfläche . . . . kg/h	28,05	27,44
Zahl der Flammrohre	15	9
Verdampfungsziffer	13,06	13,05
Kesselwirkungsgrad	0,844	0,828
Heizölverbrauch in See . . . . . kg/h	2 920	1 492
Heizölverbrauch eines Flammrohrs „	195	166
Heizölverbrauch . . . . kg/PS_ih	0,434	0,449
Art des Antriebs	2 Heißdampf-Kolbenmaschinen	1 Heißdampf-Kolbenmaschine

Der Gesamt-Bruttotonnengehalt der Dampfer und Motorschiffe betrug nach Lloyds Register 1923/24: 62 335 373 Br.-R.-T.
davon Einrichtungen für Ölfeuerung . . . 15 792 418 Br.-R.-T.
d. h. rd. 25 vH

Diese Zahlen zeigen die ungeheure Entwicklung der Ölfeuerung auf Handelsschiffen im letzten Jahrzehnt.

Die Vorteile der Ölfeuerung gegenüber der Kohlenfeuerung lassen sich in folgende Hauptpunkte zusammenfassen:

Schonung der Kessel,
gleichmäßiger Dampfdruck,
höhere Schiffsgeschwindigkeit,
Erhaltung des vollen Brennstoffgewichts,
saubere und schnellere Brennstoffübernahme,
größerer Fahrtbereich,
größerer Gewinn durch Erhöhung der Zuladefähigkeit,
geringere Instandhaltungskosten,
Ersparnis an Heizerpersonal,
Abschaffung der schweren körperlichen Arbeit.

Der letzte Punkt ist von hohem ethischen Wert. Es ist ein erhebendes Gefühl, zu sehen, wie in den sauberen Heizräumen unseres Schnelldampfers „Cap Polonio" eine einzige Pumpe bis zu 75 Brenner mit dem erforderlichen Heizöl versorgt und jetzt 6 Mann spielend alle Kessel warten, für deren Bedienung bei der Kohlenfeuerung etwa 50 Heizer und Trimmer in schwerster körperlicher Arbeit tätig waren, ohne den gleichen Wirkungsgrad zu erreichen.

Der Bagnulo-Rohölmotor.

Von L. Hausfelder, Berlin-Wilmersdorf.

Arbeitsweise, Bauart und Verwendungsmöglichkeit eines neuen, schnellaufenden Ölmotors mit innerer Gemischbildung und Glühkopfzündung.

Der Mangel und die gegen die Vorkriegszeit erhöhten Preise von Benzol haben in Verbraucherkreisen das Bestreben geweckt, sich nach Möglichkeit von diesem teuren Brennstoff freizumachen und besonders für den leichten Verbrennungsmotor nach einem Ersatz unter Verwendung von Schwerölen zu suchen. Wenn auch die Verbrennung von nicht allzu schweren Treibölen in den Vergasermaschinen mit hinreichender Wirtschaftlichkeit möglich ist, so sind doch Betrieb und Wartung gegenüber normalen Benzolmotoren etwas erschwert, während bei den Motoren mit innerer Gemischbildung, also Diesel- und Glühkopfmotoren, der Brennstoffverbrauch zwar sehr günstig ist, dafür aber hohes Gewicht des Motors und nur geringe Drehzahlen in den Kauf genommen werden müssen.

Das Bestreben, bei verhältnismäßig kleinen Zylinderabmessungen geringes Baugewicht mit hoher Drehzahl zu vereinen, hat Alberto Bagnulo nach langjährigen Versuchen schließlich zum Erfolge verholfen. Der von ihm entworfene Bagnulo-Ölmotor ist ein schnellaufender Explosionsmotor mit Glühkopfzündung, der sich dadurch kennzeichnet, daß der Brennstoff nicht durch Pumpendruck eingespritzt, sondern während des Ansaughubes in eine Glühbirne eingeführt wird; der Brennstoff hat demgemäß während des Ansaughubes und des darauffolgenden Verdichtungshubes hinreichend Zeit, an den heißen Wänden der Glühbirne zu verdampfen und verbrennt mit starker Drucksteigerung durch Selbstentzündung, sobald der Kolben den oberen Totpunkt erreicht hat.

Seitlich vom stehenden Arbeitszylinder *a*, Abb. 1, befindet sich eine Glühbirne *d* von verhältnismäßig geringen Abmessungen, (rd. 22 vH des Hubraumes), welche vor dem Inbetriebsetzen angewärmt wird. Über dieser Birne sitzt, getrennt durch ein mit Kühlrippen versehenes Zwischenstück *b*, ein federbelastetes Ventil *c*, über dem sich der mit natürlichem Gefälle zufließende Brennstoff sammelt. Beim Niedergang des Kolbens öffnet sich unter dem im Zylinder herrschenden Unterdruck dieses Ventil und läßt den Brennstoff mit einer geringen Menge Zusatzluft durch die kegelige Bohrung des Zwischenstückes *b* in feinen Tropfen in die Glühbirne *d* gelangen. Das Zwischenstück ist ein sehr wesentlicher Bestandteil, da es das Ventil vor der hohen Temperatur der Verbrennungskammer schützt und das Verdampfen des vorgelagerten Brennstoffes verhindert.

Der in die Verbrennungskammer gelangte Brennstoff verdampft während des Ansaughubes an den heißen Wänden, kann aber noch nicht verbrennen, da der Raum der Glühbirne nicht mit Luft, sondern mit Rückständen der Verbrennung gefüllt ist und die gleichzeitig mit dem Brennstoff in die Kammer gelangte Luftmenge für die Verbrennung nicht ausreicht. Das Ansaugen von flüssigem Brennstoff geschieht während etwa ¾ bis ⅕ des Kolbenniederganges; nach dieser Zeit (etwa 50° hinter dem oberen Totpunkt) öffnet sich das gesteuerte Luftansaugventil im Zylinderkopf und läßt Frischluft in den Zylinder treten, während sich das Brennstoffventil unter Federdruck schließt. Beim folgenden Verdichtungshub wird die Frischluft mit einem zur Verbrennung des ganzen Brennstoffes genügenden Sauerstoffgehalt

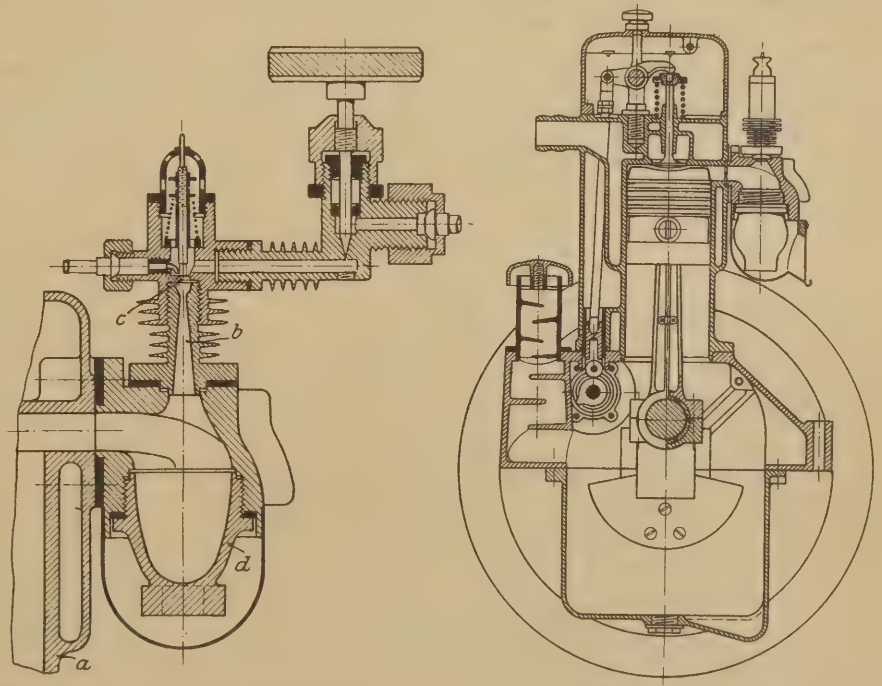


Abb. 1. Glühbirne und Brennstoffventil des Bagnulo-Motors.

Abb. 2. Querschnitt durch den 10-PS-Zweizylinder-Motor.

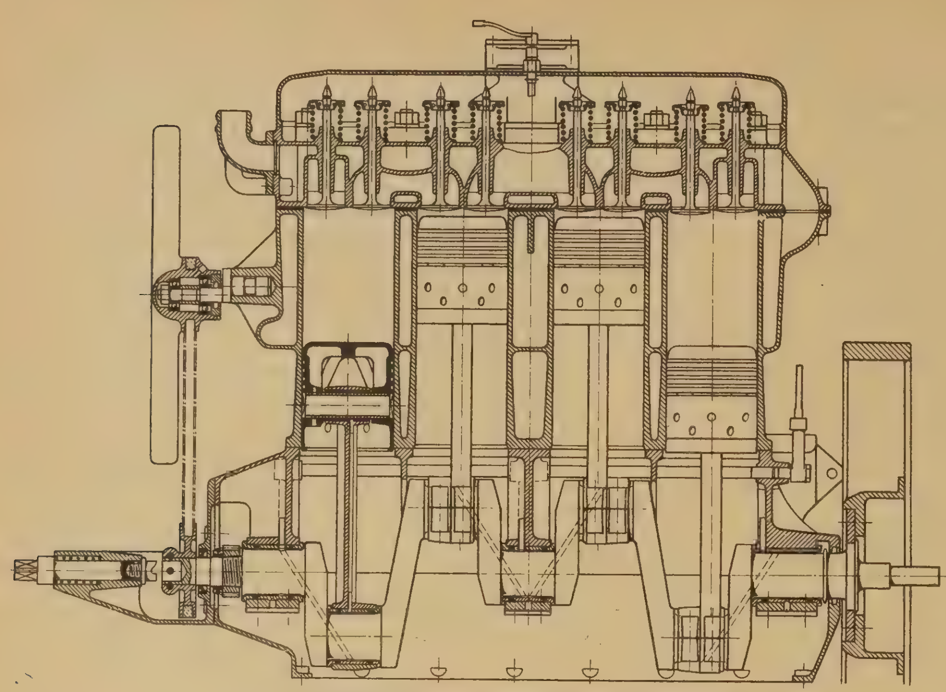


Abb. 3. Längsschnitt durch den 40-PS-Vierzylinder-Motor

in die Glühbirne getrieben. Die hierdurch hervorgerufene Durchwirbelung des Glühbirneninhaltes mischt die Brennstoffteilchen innig mit Frischluft und schafft somit günstige Vorbedingungen für die Verbrennung. Kurz bevor der Kolben im oberen Totpunkt angelangt ist, kommt durch das Zusammenwirken der Verdichtung mit den auf Rotglut erwärmten Wänden der Glühbirne die Selbstentzündung des Brennstoffes zustande, wobei der Verdichtungsdruck je nach der Art des Brennstoffes zwischen 7,5 und 10 at beträgt. Das Gemisch verbrennt explosionsartig, was sich im Diagramm durch die für Vergasermaschinen charakteristische Spitze bemerkbar macht. Die hohe Drucksteigerung in der Verbrennungskammer (auf rd. 25 at) pflanzt sich durch den weiten Verbindungskanal in den Arbeitszylinder fort, wobei die darin befindliche geringe vorverdichtete Luftmenge auch durch die heißen Verbrennungsgase erhitzt wird. Das verringert zwar die Verbrennungstemperatur, die Wärme wird aber während des Expansionshubes in der Form von Arbeit wieder abgeliefert. Der Motor hat daher während des Expansionshubes eine niedrigere mittlere Temperatur als andre Glühkopfmaschinen, was sich in geringeren Wärmeverlusten an das Kühlwasser und verhältnismäßig kühlen Auspuff äußert. Die verbrannten Gase entweichen in bekannter Weise durch ein Auslaßventil im Zylinderkopf.

Die Arbeitsweise des Bagnulo-Motors ist vom thermodynamischen Gesichtspunkt äußerst günstig, denn man erreicht die selbsttätige Verdampfung des Treiböles im Motor, die Bereitung des fertigen Ölluftgemisches vor Beginn des Arbeitshubes und die Verbrennung im Totpunkt bei nahezu gleichbleibendem Rauminhalt. Hieraus ergeben sich verhältnismäßig geringer Verbrauch an Verbrennungsluft, hohe Kolbengeschwindigkeiten und geringer Brennstoffverbrauch.

Versuche haben ergeben, daß der mittlere Brennstoffverbrauch eines Motors von 35 PS Nennleistung bei Verwendung von gewöhnlichem Braunkohlenteeröl nur etwa 230 g/PSh beträgt, was einem thermischen Wirkungsgrad von 30 vH entspricht. Namentlich bei Erhöhung der Drehzahl von 1200 auf 1650 Uml./min, und diese soll ohne Bedenken zulässig sein, stellt sich der Bagnulo-Motor in die Reihe der besten ausgeführten Lastwagenmotoren für Benzolbetrieb, die er auch in seinem Gesamtgewicht nicht wesentlich übertrifft. Nachteilig gegenüber den Benzolmotoren ist freilich, daß man die Glühbirne vor Inbetriebsetzung anwärmen muß. Dies kann entweder durch Anheizen mit einer Öllampe, durch Zünd-Patronen oder ein elektrisches Anheizverfahren (hauptsächlich bei Kraftwagen) erfolgen.

Der Aufbau des Motors unterscheidet sich nur unwesentlich vom modernen Automobilmotor, Abb. 2 und 3. Die groß bemessenen Ventile im abnehmbaren Zylinderkopf werden durch Stoßstangen und Kipphebel von der Nockenwelle im Kurbelgehäuse betätigt, das gesamte Steuergetriebe ist eingekapselt. Die Kolben sind aus Aluminium gegossen, die Kurbelwelle läuft in reichlich bemessenen Gleitlagern. Die Schmierung erfolgt unter Druck mittels Zahnradpumpe, den Wasserumlauf besorgt bei Motoren von höherer Leistung eine Kreiselpumpe, während Motoren unter 20 PS Thermosyphonkühlung erhalten. Damit jeder Zylinder die gleiche Brennstoffmenge erhält, ist am vordern Ende der Nockenwelle ein umlaufender Verteiler mit Anschlüssen an die vier zu den Brennstoffventilen der Glühbirne führenden Rohre angebracht. Die Drehzahl regelt man mittels eines Drosselventils; ortfeste Motoren erhalten außerdem einen Fliehkraftregler, der einen federbelasteten Drosselschieber für den dem Verteiler zulaufenden Brennstoff beeinflußt.

Beim Entwurf der Maschine ist von vornherein besondere Rücksicht auf die Forderungen der Reihenherstellung genommen worden. Bei allen Motoren gleicher Zylindergröße sind Kolben, Pleuelstangen, Lagerschalen, Glühbirnen, Ventile usw. vollkommen gleich. Die Herstellung des Motors ist daher verhältnismäßig billig.

Die Anwendung des Bagnulo-Motors erstreckt sich auf zahlreiche Gebiete. Während die kleineren Ein- und Zwei-Zylindermotoren hauptsächlich als feste oder fahrbare Antriebsmotoren für Kreiselpumpen und Dynamomaschinen gedacht sind, dienen die Motoren von 40 bis 60 PS für Motorpflüge, Eisenbahntriebwagen, landwirtschaftliche Zugmaschinen und Lastkraftwagen. Mit der zuletzt genannten Gattung hat die Automobilfabrik Spa in Turin umfangreiche und günstig abgelaufene Versuche angestellt. Neuerdings hat man auch einige Bagnulo-Motoren von 40 PS Normalleistung als Flugzeugmotoren ausgebildet und in Flugzeuge einer italienischen Heeresfliegerschule eingebaut. [A 2039]

Großkesselwagen.

Zur Beförderung von Flüssigkeiten, wie Petroleum, Naphtha, Alkohol, mit einem spezifischen Gewicht von rd. 0,8 dienten bisher zweiachsige Kesselwagen von 19 m³ Inhalt. Im vergangenen Jahre hat nun die Gesellschaft für Teerverwertung m. b. H., Duisburg-Meiderich, der Firma Fried. Krupp A.-G., Essen, einen Auftrag auf Lieferung von mehreren Großkesselwagen von 45 m³ Inhalt erteilt.

Die Wagen sind über die Puffer 12 100 mm lang bei 10 250 mm Länge und 2400 mm Dmr. des Kessels und wiegen einschl. Bremszylinder 24,7 t. Das Laufwerk besteht aus vier freien Lenkachsen, die durch die Tragfedern und ihre Gehänge mit dem Untergestell verbunden sind. Je zwei Achsen sind ohne Drehgestell zu einem Radsatzpaar vereinigt, dessen Radstand 1500 mm beträgt; die Radsatzmitten haben 5700 mm Abstand.

Die Achslager haben zwischen den Gleitbacken in Gleisrichtung bei den äußeren Achsen je 20 mm Spiel, bei den inneren je 10 mm und quer zum Gleis je 30 mm, so daß Krümmungen bis zu 60 m Halbmesser ohne weiteres befahren werden können. Der gleichmäßigen Übertragung der Last auf die Achsen dienen zwei Längs- und ein mit Rückstellfedern versehener Querausgleichhebel zwischen je zwei Radsätzen. Während die Längsausgleichhebel entsprechend wie bei der Drehgestellanordnung bei Unebenheiten der Schienen den Unterschied der Raddrücke zweier aufeinander folgender Räder ausgleichen sollen, sind die Querausgleichhebel dazu bestimmt, die Achsschenkeldrücke der Radsätze auszugleichen, wenn die Neigung der Gleisebene zwischen dem vorderen und hinteren Radsatzpaar verschieden ist.

Der Kessel besteht aus fünf oberen Blechen von 8 mm und drei unteren Blechen von 12 mm Dicke. Eine 12 mm dicke gewölbte Scheidewand teilt den Kessel in der Mitte in eine vordere und eine hintere Abteilung. Die Verbindungen sind zweireihig überlappt genietet. In die Scheidewand ist ein durch Handrad betätigter Umleitschieber eingebaut. Jede Abteilung des Kessels trägt auf der Oberseite einen Mannlochverschluß von 450 mm l. W. mit Entlüftungsrohr, ferner einen Füll- und einen Rührstutzen sowie ein in einer verschließbaren Kappe untergebrachtes Handrad für die Ventilspindel des Auslaufrohres. („Petroleum“ Bd. 20 vom 1. März 1924). [M 304] Sd.

Über Dieselmaschinen-Schmierfragen.

Von Obering. W. Ernst, Hamburg.

Die Unterschiede in den Arbeitsbedingungen und Schmiereinrichtungen der Dieselmaschinen erfordern verschiedene Schmiermittel. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit ist es jedoch unter Umständen notwendig, ein Einheitsöl zu verwenden und den verschiedenen Anforderungen, u. a. auch den Beanspruchungen als Kolbenkühlöl, anzupassen. An Beispielen werden Schwierigkeiten erläutert, die sich im praktischen Betriebe bei der Schmierung von Dieselmaschinen mit Einheitsöl gezeigt haben.

Um zur Entwicklung von Schmierfragen der Dieselmaschinen zu gelangen, zunächst kurz Einiges hinsichtlich der üblichen Schmiereinrichtungen. Die Betrachtung der unterschiedlichen Schmiereinrichtungen an Dieselmaschinen verweist in erster Linie auf die Verwendung verschiedener Öle für die verschiedenen Verwendungszwecke, so z. B. für die Schmierung der Lager, für den Arbeitskolben und für den Kompressorkolben, bei denen auch jeweils verschiedene Arbeitsbedingungen in Betracht kommen.

Wie bekannt, sind die Schmiermittelzuführarten entsprechend den verschiedenen Verwendungsstellen auch ganz verschieden, aber auch die Maschinenbauart ist von Einfluß auf die Schmieranordnung, so daß unter Umständen auch ein Öl allein für die Gesamtschmierung der Maschine zur Anwendung gelangt. Abb. 1 bis 3 zeigen kennzeichnende Anordnungen für Schmiereinrichtungen an Dieselmaschinen.

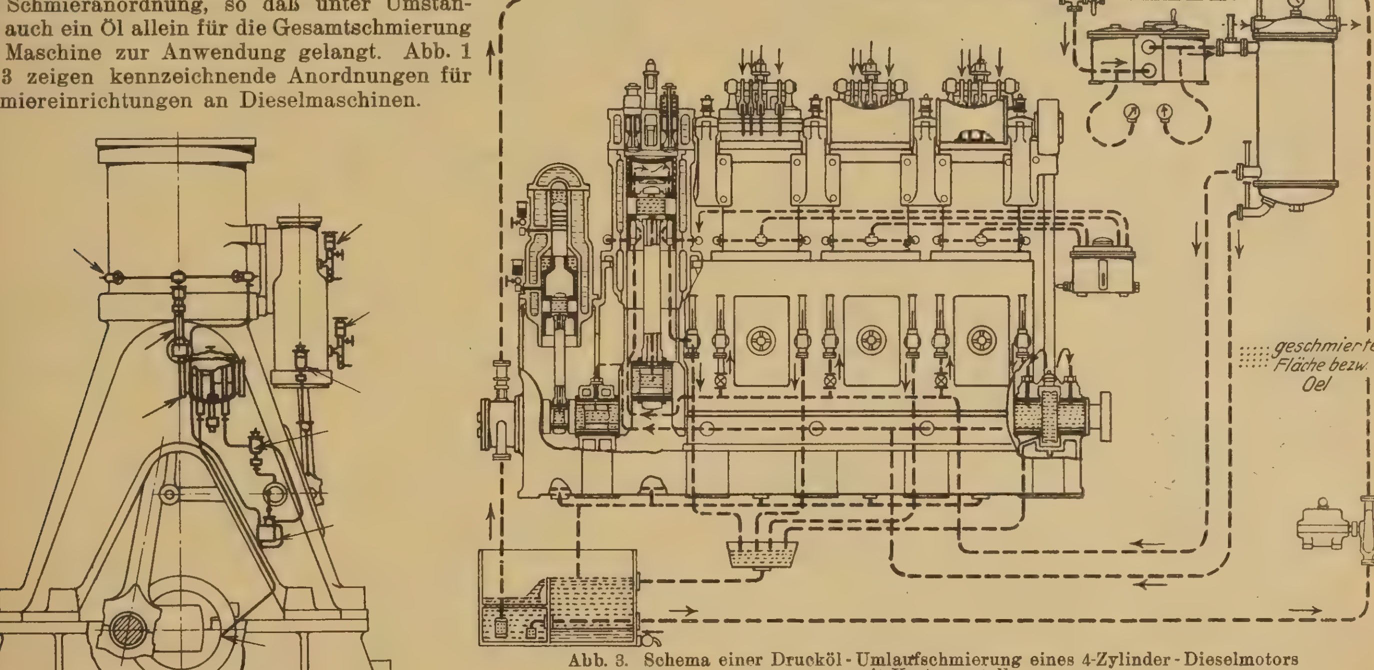


Abb. 1. Schema der Schmiereinrichtung einer normalen Dieselmaschine mit A-Gestell.

Abb. 3. Schema einer Drucköl-Umlaufschmierung eines 4-Zylinder-Dieselmotors mit Kastengestell.

Abb. 2. Schema der drucklosen Umlaufschmierungen für eine liegende doppelt wirkende Dieselmaschine.

Bei Überprüfung der allgemein gültigen Art der Schmiermittelzuführung nach Abb. 3 ergibt sich sofort die Möglichkeit, daß durch Abspritzen des Öles vom Kurbeltrieb die freiliegende Zylinderlauffläche mehr als ausgiebig geschmiert wird, so daß sich, wie es auch tatsächlich der Fall ist, schon nach ganz kurzer Zeit eine besondere Arbeitskolbenschmierung durch einen selbsttätigen Druckschmierapparat als unnötig erweist. Da der Kompressor unter ähnlichen Verhältnissen arbeitet, mag es also zweckmäßig erscheinen, nur ein Öl als Lager-, Kraftzylinder- und Kompressorzylinderöl zu wählen, das gleichzeitig auch noch als Kühlöl zu dienen hat.

Des weiteren ergibt sich, daß das Ablauföl aus dem Arbeitszylinder restlos in das Ölumlaufsystem gelangt, ein Gesichtspunkt von ganz besonderer Wichtigkeit, da fast alle Schwierigkeiten in der Schmierung erfahrungsgemäß mit auf diesen Umstand zurückzuführen waren.

Als eine der erwähnten Schwierigkeiten ist das Verschlammen und Verstopfen der Schmierölzuführung zu den Kurbel- und Kolbenbolzenlagern zu erwähnen, das aber zweckmäßig durch die in Abb. 4 dargestellte Sonderkonstruktion zu umgehen ist. Hierbei wird das Schmieröl durch Einsatzrohre gegen die Mitte der Erleichterungsbohrungen der Kurbelzapfen eingeführt. Die durch die Fliehkraft ausgeschleuderten Verunreinigungen im Umlaufschmieröl setzen sich schichtenweise am Umfang der Bohrung ab und können erst nach Erreichen einer gewissen beträchtlichen Dicke die eigentliche Ölzuführung zu den Lagern verstopfen.

Der gleichzeitig in Abb. 4 gezeigte Verschluß der Bohrungen durch leichte gedrückte Blechdeckel zeichnet sich durch einfache Demontierbarkeit zwecks Überprüfung und Reinigung aus.

Kolbenkühlung durch Öl.

Bei der Behandlung dieser Frage ergibt sich sofort die weitere Frage: Wie wirkt die Verwendung von Schmieröl zur Kolbenkühlung auf das Umlauföl und welches ist die zweckmäßigste Art der Durchbildung der Kolbenkühlung. Allgemein ist zu sagen, daß richtig ausgewähltes Öl sich sowohl als Kolbenkühlöl als auch als Schmieröl verwenden läßt, ohne daß das Kühlöl eine Veränderung erfährt und nach dem Wiedereintreten in den Umlauf das Schmieröl schädlich beeinflußt. Im besonderen ist aber bezüglich der Kolbenkühlung durch Öl zu sagen, daß bei verhältnismäßig kleiner Zylinderleistung ein einfaches Zu- und Ableiten des Öles durch Rohrstutzen in den Kolbenkühlraum vollkommen genügt; die Strömgeschwindigkeiten am Kolbenboden sind bei diesen Maschinen hoch genug, um das gefürchtete Verkoken von Öl an der Innenwand des Kolbenbodens zu verhindern. Den äußeren Aufbau eines ölgekühlten Kolbens zeigt Abb. 5, aus der gleichfalls die Art der Zu- und Abführung des Kolbenöles durch Gelenkrohre gut ersichtlich ist. Die Schnittdarstellungen ähnlicher Kolben, Abb. 6 bis 8 veranschau-

lichen mit genügender Genauigkeit auch die Strömrichtung des Öles.

Diese verhältnismäßig einfache Art der Kühlmittelzuführung, die erfahrungsgemäß für wassergekühlte Kolben größter Leistungen vollauf genügt, ist mit Öl bei Steigerung der Zylinderleistung über ein gewisses Maß hinaus nur zwangläufig durchzuführen.

In Abb. 6 sehen wir in schematischer Form die eben beschriebene Art der Kolbenkühlung, in Abb. 7 eine Ausführungsart, die sich im allgemeinen bei größeren Zylinderleistungen gut bewährt hat, mit Ausnahme des Falles, daß zwei Brennstoffeinblasventile vorhanden waren. Ist nur ein Einblasventil vorhanden, so wird die Heizzone des Brennstoffkegels genügend gekühlt, wenn auch die Strömgeschwindigkeit des Kühlöles mit dem Quadrat der Entfernung von der Mitte des Zuführstutzens abnimmt. In einem besonderen Fall war Gelegenheit, dem Einfluß der Anordnung zweier Einblasventile auf einen ähnlich durchgebildeten Kolben nachzugehen. Er drückt sich darin aus, daß an dem für diesen Betriebsfall nicht

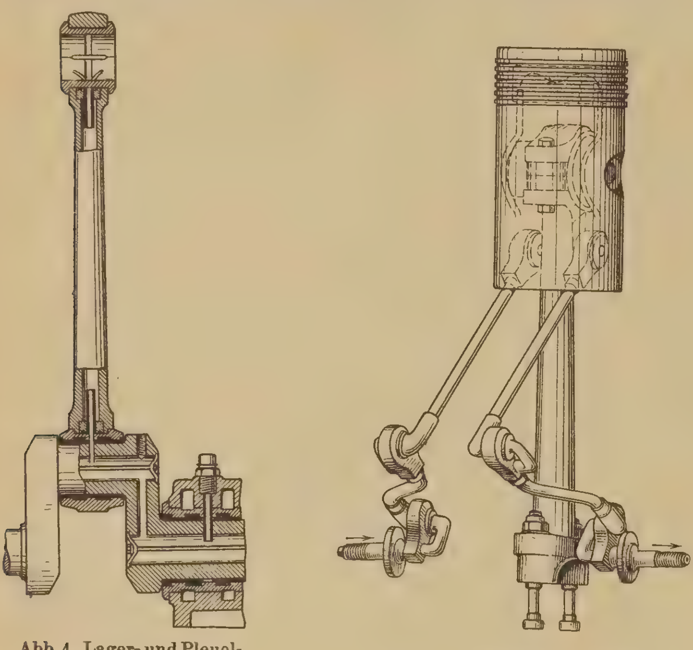


Abb. 4. Lager- und Pleuelstangenschmierung.

Abb. 5. Ölgekühlter Kolben

genügend gekühlten Randzonen derbe Verkrustungen und Verkokungen von Schmieröl ansetzten, die die Kühlwirkung weiter beträchtlich einschränkten und gleichzeitig gefährlich verunreinigend auf den Ölkreislauf einwirkten. Eine weitere Durchbildung des Kolbens nach Art der Darstellung, Abb. 8, ließ in jeder Beziehung einwandfreie Betriebsverhältnisse erzielen. Hierbei wird das Kühlöl zentral einem Spiralgang zugeführt, der, überall von gleichem Querschnitt, durch entsprechende Formgebung schon beim Guß des Kolbenbodens erreicht wird. Die Strömgeschwindigkeit des Öles ist sowohl im Mittelpunkt als auch am Rande gleichmäßig, die Kühlwirkung an jeder Stelle gut, so daß trotz der beiden örtlich beschränkten Heizzonen beider Einblasventile keine Verkrustungen mehr zu beobachten waren.

Kolbenkühlung durch Wasser.

Wenn die Kolbenkühlung durch Öl wegen der schon erwähnten geringen spezifischen Wärme des Kühlöles nicht durchführbar ist und Wasserkühlung zur Anwendung gelangt, kann die Wasserkühlung des Kolbens durch die unvermeidlichen Leckagen während des Betriebes der Maschine einen beachtenswerten Einfluß auf das Schmieröl ausüben. Verwendet man zudem noch, wie es an Bord von Seeschiffen naheliegend ist, Seewasser als Kolbenkühlmittel, so übt dieses, wie leicht erklärlich, einen weitaus stärkeren Einfluß auf das Schmieröl aus, wie beispielsweise Süßwasser oder gar Kondensat. Die Forderung einer weitgehenden Unempfindlichkeit des Schmieröles gegen Wasser ist in diesem Zusammenhang ohne weiteres klar verständlich und muß sogar noch häufig auf Betriebsfälle ausgedehnt werden, in denen auf künstliche Kolbenkühlung vollkommen verzichtet wird, aber Schwitzwasserbildung in den Schmierölsammelbehältern usw. natürlich auch ein Eindringen von Wasser in das Öl bedeutet.

Leckagen von Kolbenkühlwasser bestehen bei den bis jetzt ausgeführten Bauarten der Kolbenkühlwasser-Zuführungen tatsächlich immer. Nur wenn es auf die Dauer gelingen sollte, die Kühlwasserzuführung ganz außerhalb des Bereiches des Maschinentriebwerkes und damit des Schmieröles zu bringen, erscheint es gegeben, diese Möglichkeit der Störung zu beseitigen.

Die Frage: Welche Beanspruchungen erfährt das Lageröl einer Dieselmaschinenanlage mit Umlaufschmierung, kann mit einem Hinweis auf die beträchtlichen mechanischen Beanspruchungen, die der stete Umwälzvorgang, die Ölpumpe und die thermischen Beanspruchungen infolge des Abführens der Reibungswärme von den Lagern hervorrufen, beantwortet werden. Hierzu treten noch die erwähnten Einflüsse des fast immer im normalen Betriebe vorhandenen Wassers im Schmierölsystem und nicht zuletzt als besonders wesentlicher Punkt der Einfluß des feinverteilten Kohlenstoffes in Rußform, der als Kolloid geeignet ist, den Charakter des Öles zu verändern. Die Schwierigkeiten, die bei der Trennung einer solchen Öl-Kohlenstoff-Suspension auftreten, sind derart, daß es häufig im praktischen Betriebe vollkommen ausgeschlossen erscheint, durch einfache mechanische Filterung das gebrauchte Schmieröl wieder aufzubereiten. Die einzige lichte Seite an dieser häufig anzutreffenden Verschmutzung des Öles ist die, daß der Kohlenstoff tatsächlich in so fein verteilter Form auftritt, daß er nicht mehr schleifend wirken kann.

Bei unzweckmäßiger Durchbildung der Kolbenkühlung und — was noch viel wichtiger ist — bei unzweckmäßiger Betriebsführung einer sonst durchaus zweckmäßig entworfenen und gebauten Maschine gehen aber auch noch harte Ölkoksteile in den Schmierölkreislauf über, die selbstverständlich den verhältnis-

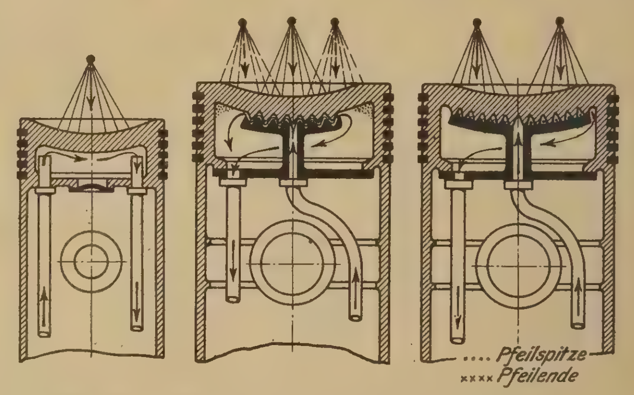


Abb. 6 bis 8. Schmierung einer ortfesten Dieselmaschine.

mäßig harmlosen Charakter des feinverteilten Rußes aus dem Kraftzylinder nicht haben.

Hält man sich hierbei vor Augen, daß die neueste Entwicklung, insbesondere im Schiffsmaschinenbau, doch dahin geht, die schnellaufende Dieselmaschine durch ein Zahnrad-Übersetzungsgetriebe allein oder unter Vermittlung von besonderen Kupplungen auf die Schraubenwelle arbeiten zu lassen, und daß ohne starke Komplizierung der Anlage und Erschwerung des Betriebes eine Trennung von Maschinen- und Getriebeschmieröl schwer möglich erscheint, so ist es erstaunlich, was dem an und für sich empfindlichen, feingeteilten Getriebe als Schmiermittel zugemutet werden muß. Das Getriebe, das in der Werkstatt und bei den Erprobungen mit großer Sorgfalt behandelt wurde, erhält unter Umständen im normalen Dauerbetriebe als Schmiermittel ein Gemisch von Fremdkörpern und Öl.

Praktische Beispiele von Ölveränderungen.

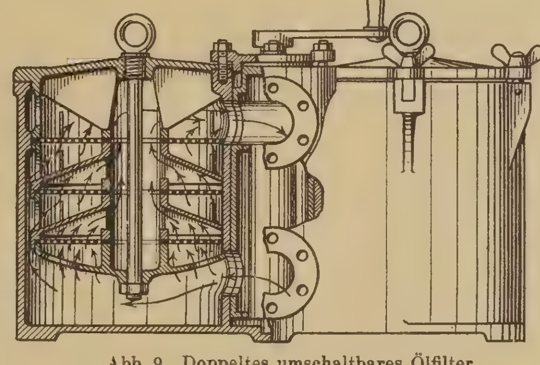
Die so eng zusammenhängenden Fragen der Triebwerk-, Kraftzylinder- und Getriebeschmierung seien zweckmäßig an Hand von praktischen Beispielen besprochen, deren Auswertung, wenigstens in den Grundzügen, Folgerungen erlaubt, die für den Maschinenbauer, den Betriebsmann und nicht zuletzt den Schmierölerzeuger von ganz besonderer Wichtigkeit sind.

Der erste Fall der Aufklärung einer Ölveränderung, die an sich keine großen Betriebsschwierigkeiten ergab, an einer Schiffsanlage mit zwei einfachwirkenden Sechszylinder-Dieselmaschinen, deren Arbeitskolben mit Seewasser gekühlt wurden, ist typisch für Erscheinungen, die selbst bei gut entworfenen und gut bedienten Maschinen eintreten können. Vorausgeschickt sei, daß die Hilfsmaschinen der betreffenden Anlage (ebenfalls Dieselmaschinen) und die Einblaseluftpumpen in bezug auf die Schmierung niemals Anlaß zu Schwierigkeiten gegeben haben, und daß die besonderen Schmierungsfragen der kleineren und mittleren Maschinen in diesem Zusammenhange

wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht mehr erwähnt werden sollen.

Den Anlaß zu der Untersuchung gab eine verhältnismäßig harmlose Störung der Ölzuführung zu den vorderen Pleuellagern der großen Maschine. Das Drucköl wird mit einem verhältnismäßig geringen statischen Überdruck der Kurbelwelle und weiter den Pleuellagern durch Bohrungen zugeführt. Diese waren bei der in Frage stehenden Anlage bei einem Zapfendurchmesser von rund 450 mm nicht viel weiter als ungefähr 30 mm. Nach monatelangem einwandfreiem Betrieb mit einem Öl, das sich als Einheitsöl für Lager-, Zylinder- und Kompressorenschmierung an sich durchaus bewährt hatte, trat plötzlich eine Stockung des Ölzutritts zu den von der Öleinführungsstelle am weitesten entfernten Pleuellagern ein. Der Grund war Verstopfung fast des ganzen Querschnittes der Ölzuführungsbohrung in der Achsrichtung des Kurbelzapfens durch sogenannten Schlamm. Der Schlamm entpuppte sich im wesentlichen als ein zähes Öl-Ruß-Gemisch, dessen Bildung ganz eindeutig nur durch das Ablauföl aus dem freiliegenden Arbeitszylinderlauf verursacht war. In diesem Falle war die Maschine ursprünglich als vollkommen offene Schiffsmaschine gebaut. Es konnte also das von dem Kolbenkörper teilweise nach dem Triebwerk zu abgestrichene verrußte Ablaufzylinderöl tropfenweise und stetig in das Umlaufschmieröl gelangen. Die Reinigungseinrichtungen für das Schmieröl sind in diesem Falle die an Bord allgemein üblichen, nämlich das umschaltbare Ölfilter hinter der Ölpumpe, etwa gemäß Abb. 9. Es war nicht möglich, durch diese Filter das Umlauföl wirksam zu reinigen, wie die Maschinenstörung ja gezeigt hatte. Für Zeiten längerer Betriebstillstände wurden zudem noch der übliche Absetztank und die Ölschleuder mit Warmwasserheizung, eine Ausführung ähnlich Abb. 10, vorgesehen, die in der Weise bedient wurde, daß der größte Teil des gesammelten, gebrauchten Öls nach Absetzenlassen der Zentrifuge zugeführt wurde, die durch Ausschleudern unter Erwärmung die mechanischen Verunreinigungen möglichst weitgehend ausscheiden sollte. Ein grober Schlamm und vor allen Dingen beträchtliche Anteile von Seewasser, die sich bei der Beruhigung der ganzen Ölmenge im Doppelboden des Ölvorratbehälters abgesetzt hatten, wurden durch eine kleine Pumpe gesondert abgezogen und, sofern die Aufbereitung dieser Schlammasse unmöglich erschien, außenbords gepumpt. Bemerkenswert ist, daß keine Spur von echter Seewasser-Öl-Verseifung eintrat, daß die gute Abscheidung des Öles von Wasser in diesem Fall über jeden Zweifel erhaben war. Trotz dieser betriebsmäßig durchaus sorgfältig durchgeführten Ölpflege war also eine beachtliche Veränderung des Schmiermittels eingetreten. Die sorgfältige Prüfung ergab, daß außer der vorgesehenen zwangläufigen Arbeitszylinderschmierung durch mechanische Sichtschmierer eine zweite, vollkommen unkontrollierbare Art der Zylinderschmierung bestand; vom Kreuzkopf abgeschleudertes Öl wurde im feinverteilten Zustand durch die Luftsaugstutzen teilweise mit in die Zylinder gefördert. Die größere Menge wurde an den freiliegenden Zylinderlauf geschleudert, da eine Abdeckung der Zylinderlaufbüchse bei dem vorhandenen kurzen Kolben der Viertaktmaschine nicht bestand.

Abb. 10. Ölschleuder mit Warmwasserheizung.


Abb. 9. Doppeltes umschaltbares Ölfilter.

Durch diesen Vorgang ergab sich damit eine reichliche Zylinderöl-Ablaufmenge, die, wie schon erwähnt, in das Umlaufschmieröl gelangte. Da im Dauerbetrieb die Stopfbüchsen der normalen Kolbenkühlwasserzuführung nie vollkommen dicht zu halten sind, sammelt sich Seewasser im Laufe der Zeit in nicht unbeträchtlicher Menge im Schmierölkreislauf. Eine sorgfältige Untersuchung des Umlauföles nach mehrmonatigem Gebrauch ergab, daß das Öl ungefähr 4 vH an mechanisch gebundenem Wasser enthielt, und daß Rußanteile mit ungefähr 6 vH bei einem Reinölanteil von 90 vH die Mischung ausmachten, mit der die Maschine monatelang durchaus ohne sonstige Störungen gefahren war.

Die kohligen Rußanteile stellen, sorgfältig aus der Mischung entfernt und gereinigt, eine ziemlich harte Masse dar, und zwar sind puderfein verteilte Rußteilchen an Chloride und Sulfate der Alkalien Kalk und Magnesia gebunden. Es ließen sich also Bestandteile des Wassers und zudem noch Eisenoxydanteile, d. i. Rost, feststellen, der ja auch durch Einwirkung des Seewassers auf die Eisenteile entstanden sein mag, aber auch sonst in Kraftmaschinenbetrieben anzutreffen ist.

Der Reinölanteil selbst war außer in der Farbe gegenüber dem Ausgangsöl praktisch unverändert, ein Zeichen dafür, daß ein richtig ausgewähltes hochwertiges Öl an sich tatsächlich unbegrenzte Zeit brauchbar ist. Es hat sich auch gezeigt, daß das Öl in einer mit Dampf geheizten Ölzentrifuge vollkommen wieder aufbereitet werden kann. Aus leicht erklärlichen Gründen hat man bis jetzt aber immer nur das vorhandene heiße Kühlwasser der Auspufftöpfe von Hilfsdieselmaschinen zum Anwärmen des Ablauföles benutzt, wodurch höchstens 70 °C erreicht wurden, eine Temperatur, die tatsächlich zu niedrig ist und möglichst auf 100 °C gesteigert werden sollte.

Um diese ganz erklärlichen Veränderungen des Schmiermittels auszuschalten, wird es sich empfehlen, dem ablaufenden Kraftzylinderöl den Zugang zum übrigen Schmierkreislauf zu versperren. Bei sämtlichen neueren Großdieselmaschinen ist dies ja auch schon vorgesehen. Hier wird durch einen leichten Zwischendeckel das vollkommen gekapselte Triebwerk vom Arbeitszylinderblock getrennt. Abgeschleudertes Triebwerköl kann danach unmöglich an die freiliegende Zylinderlauffläche gelangen; anderseits aber kann das Ablauföl restlos gesondert abgeführt werden. Außerdem erreicht man mit Sicherheit, daß die Zylinderschmierung durch die mechanischen Sichtschmierapparate vollkommen kontrollierbar ist, daß also der Schmierölverbrauch, der im wesentlichen ja nur durch die Zylinderschmierung dargestellt wird, einen Mindestwert erreicht.

Die Bildung der Produkte unvollkommener Verbrennung im Kraftzylinder ist nach vorliegenden Erfahrungen im wesentlichen eine Frage des Brennstoffes. So war festzustellen, daß gewisse Kohlenöle starke Rußbildungen verursachen, während bei rein mineralischen Treibölen, d. h. Erdölprodukten, diese Bildung von Ruß auf ein Mindestmaß beschränkt wird, zweckentsprechende Bedienung der ganzen Anlage selbstverständlich vorausgesetzt. Gleichzeitig beteiligen sich an der Rußbildung auch noch die über den Kolben gelangenden Schmierölmengen, die, an der gekühlten Wand sitzend, natürlich bei mangelnder Erreichung der nötigen hohen Verbrennungstemperatur niemals vollkommen verbrennen können.

Über die Höhe der mittleren Wandungstemperaturen liegen als neueste Ergebnisse Messungen von Prof. Dr.-Ing. Kurt Neumann, Hannover, vor, die voraussichtlich durch weitere Versuche von anderer Seite eine Bestätigung und Erweiterung finden werden. Auszugweise gibt über die auftretenden mittleren Wandungstemperaturen in Verbindung mit der mittleren Gastemperatur die Zahlentafel (auf S. 354) Aufschluß. Sie zeigt, daß auch bei der Dieselmaschine auf verhältnismäßig niedrige Wandungstemperaturen von höchstens etwa 115 °C mit Sicherheit gerechnet werden kann.

Der Kolben führt bei jedem Hub frisches Öl mit, in dem die feinen Rußanteile aufquellen. Ein bestimmter Teil der an der Zylinderwand hängenden Ölteile wird selbstverständlich auch mit abgestreift und erscheint als Zylinderablauföl. Um diese Bildung möglichst einzuschränken, ist zuerst zweckmäßig, den Zylinderölverbrauch, d. h. die Förderung auf den Arbeitskolben, auf das praktisch mögliche Mindestmaß zu bringen. Es muß hier noch bemerkt werden, daß bei unzweckmäßigem Schmieröl die über den Kolben in den Verbrennungsraum tretenden überschüssigen Schmierölmengen, statt zu verrußen, sintern und hart verkoken.

Zahlentafel 1.

Entnommen aus „Untersuchungen an de: Dieselmaschine“ von Prof. Dr.-Ing. Kurt Neumann, Hannover. (Forschungsheft Nr. 245.)

Wärmeaustausch während			des Ansaugens	der Verdichtung	der Verbrennung und Expansion							des Vorauspuffs	des Ausschubes
					2a	ab	bc	cd	de	ef	fg		
Mittlere Gastemperatur	t_g	°C	110	152,8	601	791	1140	1253	1132	1014	906	622	470
Mittlere Wandtemperatur innen	ϑ_1	°C	36,8	39,7	68	66	59	113	53	49	51	57	42
Mittlere Wandtemperatur außen	ϑ_2	°C	34,6	38,1	61,1	61,2	54,6	92,4	50,4	45,3	38,2	49,5	39,6
Temperaturgefälle in der Wand	$(\vartheta_1 - \vartheta_2)$	°C	2,2	1,6	6,9	4,8	4,4	20,6	2,6	3,7	2,8	7,5	2,4

Inwieweit es möglich sein wird, die Treibölverbrennung vollkommen zu gestalten, besonders die von Kohlenöl, entzieht sich heute der sicheren Beurteilung. Vielleicht ist es sogar möglich, durch Wasserzusatz zum Treiböl, wie von v. Wartenberg in diesem Jahrgang der Zeitschrift, Heft 7, ausgesprochen hat, die tatsächliche Vollkommenheit der Verbrennung besonders von Teeröl zu erreichen. Diese Arbeit „Über Verbrennungsvorgänge im Dieselmotor“ ist eine beachtenswerte Ergänzung der kurzen Ausführungen, die über diesen Gegenstand hier zu machen sind.

Ein zweiter, besonders interessanter Betriebsfall ist die Aufklärung der Ölveränderung in einer großen Dieselmotorenanlage mit einfach wirkenden schnellaufenden Viertaktmaschinen, die ölgekühlte Arbeitskolben haben und ihre Leistung über ein Zahnradgetriebe an die Schraubenwelle abgeben. Ein Einfluß der Kolbenkühlung auf die Ölfüllung war nicht festzustellen. Dafür ergab die eingehende Untersuchung eines schon im Betriebe durch Ausschleudern behandelten Ölschlammes einen Gehalt an Wasser von ungefähr 14 vH, an mechanisch gebundenem Wasser von ungefähr 65 vH und etwas über 20 vH reinen Öles. Gewichtmäßig betrug der Anteil an kohligen Bestandteilen nur ungefähr ¾ vH. Diese waren aber so fein verteilt, daß dieser geringe Prozentsatz schon genügte, um dem im Umlauf befindlichen Schmieröl einen Charakter ausgesprochener Verdickung zu geben. Den Schmierölpumpen war es nicht möglich, die Schmiermittelmenge mit dem nötigen Druck durch die Leitung zu pressen. Hierzu mußte noch eine besondere Hilfspumpe mit aufgestellt werden. Harte, koksartige Anteile, die aus der Kolbenkühlung stammen konnten, wurden nicht festgestellt. Das nur in bezug auf die Farbe veränderte Öl, wies nach Trennung Konstanten auf, die mit denen des ursprünglichen Öles vorzüglich übereinstimmten. Sehr schwierig erwies sich die Trennung der Schlammanteile, die nur dadurch durchzuführen war, daß durch Erwärmung auf 135 °C im druckfesten Gefäß eine teilweise Scheidung in drei Schichten erzielt wurde. Durch Behandeln des Ölanteils in der geheizten Zentrifuge ließ sich dabei ein vollkommen brauchbares Öl wiedergewinnen.

Eine wiederholt angeschnittene Frage ist die der Klärung der Ölbewegung vom Kurbelgehäuseunterteil an der Zylinderwand entlang in den Verbrennungsraum und umgekehrt. Es steht mit Sicherheit fest, daß Schmieröl in den Verbrennungsraum wandert, während anderseits ebenso sicher feststeht, daß auch Treiböl in Verbindung mit Schmieröl und dem wiederholt erwähnten Rußanteil aus dem Verbrennungsraum die Zylinderwandung entlang in den Kurbelgehäuseunterteil eintritt. Feststellungen, die bestimmte Aufschlüsse über den Vorgang ergeben, sind bislang nicht erfolgt. Vielleicht bieten aber Abb. 11 bis 14 Anregung zu entsprechenden Überlegungen, daß die Bewegung der Kolbenringe beim jeweiligen Einsetzen des Hubwechsels eine Art Pumpen oder Durchlassen des Öles von der einen oder anderen Richtung zuläßt oder fördert. Am stärksten wurden solche Erscheinungen bei sehr abgenutzten Kolben, Kolbenringen und Kolbenringnuten beobachtet, wobei aber natürlich nicht an das Auftreten sogenannten Durchschlagens gedacht wird. Abb. 11 bis 14 zeigen ein Schweben des einen Kolbenringes im jeweiligen Hubwechsel, daneben ist die Stellung des Kolbenringes im nächsten Augenblick und während Vollendung des Hubes gezeigt.

Die in der Zahlentafel 2 vorgeführten Analysen der drei erwähnten Öle: des ungebrauchten Ursprungsöles, des gebrauchten Schmieröles, das gleichzeitig als Kolbenkühlöl diente, und des gebrauchten Öles aus dem Kreislauf der Dieselmaschine mit Kolbenkühlung durch Seewasser, zeigen, in welch geringem Maße tatsächlich eine Veränderung eines sonst bewährten Öles eintritt.

Zahlentafel 2.

Analysen-Daten	Ungebrauchtes Schmieröl	Gebrauchtes Schmieröl und Kühlöl	Gebrauchtes Schmieröl
Spez. Gewicht b. 15 °C	0,9058	0,9069	0,9093
Visc. n. E. b. 50 °C	5,2	5,36	5,19
Flammpunkt o. T. °C	228,5	214	224
Säurezahl	0	0,484	0,218
als SO_3 ber. vH	0	0,035	0,016

Die Größe der Ölfüllung hat große Bedeutung für ihre Veränderung, denn es liegt klar auf der Hand, daß eine besonders hohe mittlere Umwälzungsgeschwindigkeit es den Fremdkörpern unmöglich macht, sich im normalen Betrieb irgendwo abzusetzen. Wenn man sich vorstellt, daß z. B. im letzten Falle die gesamte Schmierölmenge einer Maschine mindestens 15 mal stündlich vollkommen umgewälzt wurde, so ist damit auch schon die mechanische Beanspruchung des Schmieröles im monatelangen Dauerbetrieb zur Genüge gekennzeichnet. Die Vergrößerung der

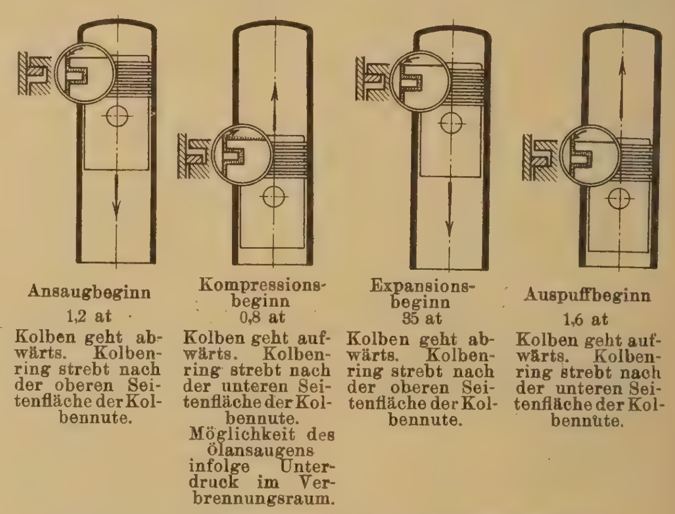


Abb. 11 bis 14. Schmierung einer ortfesten Dieselmaschine.

Umlauf-Schmierölmenge um ein Mehrfaches der bis jetzt gebräuchlichen und eine ganz sorgfältige Abdeckung des Kurbeltriebes nach dem Arbeitszylinder hin und anderseits der Zylinderlaufbüchse nach der Kurbelwanne hin sind die Gesichtspunkte, die hier zur Lösung der Schwierigkeiten beitragen können.

Abschließend stellt sich heute das Gebiet der Dieselmaschinenschmierung so dar, daß von einer Bewährung mehrerer, gleichzeitig angewandter verschiedenartiger Öle an einer und derselben Maschine gesprochen werden kann, wobei noch besonders darauf hinzuweisen ist, daß sich, entgegen der alten Überlieferung, gefettete Öle von verhältnismäßig niedriger Viskosität in ganz besonderem Maße zur Schmierung von Einblaseluft-Kompressorzylindern besonders von Schiffsdieselmaschinen bewährt haben. Anderseits wieder kann es sich als durchaus zweckmäßig erweisen, nur ein einziges Öl anzuwenden, das für alle verschiedenen Anforderungen: an Lagerschmieröl, an Zylinderöl für den Arbeitskolben und den Kompressorkolben, vollkommen genügen muß, und das zudem auch noch in vollkommener Weise als Kühlmittel dienen soll. In absehbarer Zeit ist außerdem noch zu erwarten, daß dieses Einheitsöl auch gleichzeitig als Getriebeschmiermittel und Getriebefüllung bei hydraulischen Kupplungen zu verwenden sein muß!

Um alle diese Gesichtspunkte zu erfassen, hat es keinen Zweck, eine Gruppe von landläufigen Analysen zusammenzustellen, die eine erschöpfende Wertung für den Gebrauch eines Schmiermittels für einen besonderen Zweck doch nicht voll geben können. Nur Beobachtungen der besonderen Arbeitsbedingungen der Dieselmaschine und das Eingehen auf deren Betriebseigenart sind Arbeiten, die den Maschinenbauer, den Betriebsmann und den Ölerzeuger zu nutzbringender Gemeinschaftsarbeit vereinigen. [A 210]

RUNDSCHAU.

Verwertung von Sulfitspiritus als Motorbetriebstoff[1]).

Die Frage der Verwendung des Sulfitspiritus als Motorbrennstoff war in Schweden während einer Reihe von Jahren Gegenstand großer Aufmerksamkeit, sowohl vom Standpunkt der Motortechnik und der Zellstoff-Fabriken, als auch von dem der Abstinenzpolitiker aus. Unter dem Einfluß der wirklichen oder vermeintlichen mißbräuchlichen Verwendung von steuerfreiem Spiritus hat man 1918 sehr strenge Verkaufbedingungen erlassen.

Nachdem sich die dadurch geschaffene Lage als unhaltbar erwiesen hatte, wurde 1921 zur Wiederherstellung einer vernünftigeren Ordnung ein Brennstoff, bestehend aus Benzol oder Benzin mit Spiritus (von letzterem höchstens 50 vH Gewichtsteile der Mischung) freigegeben. Zur Denaturierung wurden 10 g Formaldehyd und 25 g Tetralin auf je 1 l Spiritus von Normalstärke zugefügt. Diese Mischung wurde Methyl genannt. Im Jahre 1922 wurde eine Mischung aus sogenanntem Vorspiritus (20 vH der Ausbeute an Sulfitspiritus, denaturiert mit 5 g Formaldehyd auf je 1 l Spiritus von Normalstärke) mit einem Zusatz von mindestens 25 Gewichtsteilen Benzin oder Benzol der Gesamtmischung unter dem Namen Benthyl freigegeben. Seit 1923 ist Vorspiritus auch ohne Denaturierung für die Herstellung von Benthyl frei.

Als der schwedische Reichstag 1923 wegen der gesteigerten Verwendung von Motoren und des Verbrauchs von Motorbrennstoffen auf Maßnahmen drängte, um die Beträge, die für den Einkauf von Motoren und Motorbrennstoff nach dem Auslande gingen, dem einheimischen Markt zu bewahren, wurden das Königl. Kommerzkollegium und die Königl. Kontrollverwaltung unter Mitwirkung der Ingenieur-Wissenschafts-Akademie von der Regierung angewiesen, die Verwertung von Sulfitspiritus zu studieren.

Vor einigen Wochen haben diese Behörden ihr Gutachten abgegeben; dieses enthält einen allgemeinen Bericht über die Entwicklung und Absatzmöglichkeiten der Industrie des Sulfitspiritus sowie über die technischen Fragen des Spiritusbetriebes von Motoren. Hiernach ist die Verwendung von Sulfitspiritus als Motorbrennstoff, wenigstens vorläufig, befriedigend gelöst, da Sulfitspiritus nicht nur als Ersatz für Benzin, sondern als ein technisch vollwertiger Motorbrennstoff angesehen werden kann. Besonders durchgreifende oder kostspielige Änderungen sind bei Verwendung dieses Brennstoffes für normale Benzinmotoren nicht nötig. Technische Schwierigkeiten bietet aber auch der Bau von ausgesprochenen Spiritusmotoren nicht, welche die Leistung des Brennstoffes besser als Benzinmotoren ausnützen können.

Unter Hinweis auf die bisherigen Hindernisse gegen den Verkauf von Motorspiritus, den niedrigen Benzinpreis und die Verkaufbeschränkungen, hält das Gutachten den freien Handel mit Motorspiritus unter geschäftsüblichen Formen für eine der Voraussetzungen, unter denen der Wettbewerb mit Benzin möglich wäre.

Die Untersuchung geht sonst im wesentlichen auf die Denaturierung ein. Bisher hat man hierzu Benzin oder Benzol, und zwar mindestens 5 Raumteile auf 1 l Spiritus von Normalstärke, verwendet. In der Praxis kommt nur Benzol in Betracht, weil sich Benzin und Spiritus (95 vH) nicht gleichmäßig vermischen. Meist wird der Zusatz von Benzol erheblich größer bemessen, als vorgeschrieben ist, weil dies mit Rücksicht auf die Vergasung zweckmäßig scheint. Das Benzol ist deshalb ein sehr gutes Denaturiermittel, weil man es ohnehin dem Spiritus zusetzt, um die Zündung in den Motoren zu erleichtern. Es genügt aber nicht, um Verwendung von Spiritus als Genußmittel zu verhindern, weil die Erfahrungen aus den Jahren 1918 und 1919 gelehrt haben, daß mit Benzol denaturierter Spiritus sehr leicht wieder vom Benzol geschieden werden kann.

Ein vollkommenes Denaturiermittel hat man noch nicht gefunden. Die wichtigsten Forderungen erfüllt einigermaßen Formaldehyd (CH_2O), das bei einem Zusatz von 10 g auf 1 l Spiritus von Normalstärke den Genuß unmöglich macht. Wird eine Mischung von Formaldehyd, denaturiertem Spiritus und Benzol mit Wasser bis auf 50 vH Alkoholgehalt verdünnt, so scheidet sich Benzol fast ganz aus und kann abgezapft werden. Das Formaldehyd bleibt jedoch in der Branntweinschicht enthalten und kann auch nicht durch Destillation, sondern nur durch Zusatz gewisser Chemikalien entfernt werden.

Über die Wirkung des Formaldehyds als Denaturiermittel auf die Motoren hat Prof. Hubendick im Frühling 1921 Untersuchungen durchgeführt[2]); diese haben ergeben, daß bei kurzen Proben keine schädlichen Einwirkungen auf die Motoren beobachtet werden konnten; wahrscheinlich werden auch längere Proben dasselbe zeigen.

Die praktischen Fahrproben mit Formaldehyd-Spiritus haben zwar gezeigt, daß die Auspuffgase stechende Gefühle in Nase und Augen hervorrufen, wenn die Verbrennung im Motor unvollständig ist. Diese Wirkung verschwindet jedoch sehr bald in der frischen Luft, und bei der Verdünnung der Auspuffgase im normalen Betriebe dürften keine Belästigungen zu befürchten sein.

Auch die Königliche Medizinalverwaltung hat daher die Verwendung von Formaldehyd für das Denaturieren von technischem Spiritus befürwortet.

Als zweites Denaturiermittel hat man auch Crotonaldehyd eingehend untersucht. Dieser Stoff hat keine Eigenschaften, die seine Verwendung als Motorbrennstoff hindern; da er aber giftig ist, verlangt die Königliche Medizinalverwaltung, daß die betreffenden Gefäße mit dem Giftzeichen versehen werden.

Beide Denaturiermittel rufen heftige Schmerzen im Munde hervor und verhindern, die Flüssigkeit herunterzuschlucken. Krotonaldehyd ist hierin dem Formaldehyd und andern Mitteln, z. B. Holzspiritus oder Methyläthylketon erheblich überlegen, obwohl es in der Herstellung bedeutend billiger ist.

Das Ergebnis des Gutachtens ist, daß man sich auf Denaturierung mit Crotonaldehyd und Formaldehyd einrichten soll. Allerdings lassen sich diese Mittel vom Spiritus abscheiden (durch Destillation und Zusatz von Chemikalien), doch müsse man sich damit abfinden, daß dies dem Laien immerhin Schwierigkeiten bereiten wird. Die sachverständigen Verwaltungen nebst der Akademie sind deshalb der Ansicht, daß die genannten Mittel eine so wirksame Denaturierung herbeiführen, daß man darauf einen freien Verkauf von Motorspiritus stützen kann.

Der Finanzminister hat sich bereit erklärt, dem tagenden Reichstag entsprechende Vorschläge vorzulegen.

[M 263] Ziv.-Ing. Sigurd Halden, Stocksund.

[1]) Teknisk Tidskrift 9. Januar 1924.
[2]) Vergl. a. Z. Bd. 64 (1920) S. 488.

Versuche zur Entwicklung kompressorloser Dieselmotoren.

Die Untersuchungen wurden von Dr.-Ing. V. Heidelberg an einer stehenden Einzylinder-Viertaktmaschine von 50 PS Leistung ausgeführt und erstreckten sich auf das Verhalten der Maschinen bei Veränderung der Vorverdichtung zwischen 18 und 51 at im Verpuffungs- und im Gleichdruckverfahren, bei Veränderungen der Gestalt des Verbrennungsraumes durch Einbau hohl gekrümmter oder erhabener Kolbenaufsätze, bei Veränderung der Spritzdüsen und der Einspritzdrücke sowie bei Verwendung ein- oder mehrteiliger Düsennadeln. Im wesentlichen hat sich hierbei folgendes ergeben:

Steigende Verdichtung erhöht den Zünddruck und vermindert den Verbrauch, der linear mit zunehmendem Zünddruck abnimmt, aber nicht von der Vorverdichtung abhängt. Dabei erweist sich das Verpuffungsverfahren als dem Gleichdruckverfahren überlegen. Hohl geformte Kolbenböden, die den Brennraum der Kugelform annähern, haben namentlich bei Kleinmotoren günstigeren Verbrauch ergeben als nach oben gewölbte Kolbenböden. Bei Verwendung von Mehrlochdüsen kann man, ohne daß die gute Verbrennung beeinträchtigt wird, geringere Einspritzdrücke als bei Einlochdüsen verwenden. Der günstigste Verbrauch wird erreicht, wenn man den Grad der Zerstäubung und die Durchschlagkraft des Brennstoffstrahles der Form des Verbrennungsraumes und den Maschinenabmessungen anpaßt. Sucht man darüber hinaus den Wirkungsgrad zu verbessern, so verschlechtert man die Verbrennung.

Wegen der schnell zunehmenden Pumpendrücke läßt sich die Drehzahl der Dieselmaschinen mit unmittelbarer Einspritzung nicht über 400 Uml./min steigern. Zweiteilige Düsennadeln, die geringere Massenbeschleunigungen erfordern, verhalten sich in dieser Beziehung günstiger.

Gegenüber der kompressorlosen ist die Wirtschaftlichkeit der Luftdieselmaschine wegen des Arbeitsaufwandes für den Kompressor um 10 bis 15 vH geringer. Dementsprechend hat die kompressorlose Maschine auch einen geringeren Verbrauch, der für Zünddrücke bis zu 40 at und mittlere wirksame Kolbendrücke von 6 at bis auf 168 g/PS_eh zurückgehen kann. (Diss. Techn. Hochschule Aachen, April 1923.) [M 197]

Scheiden von Flüssigkeiten durch Fliehkraftwirkung.

In einer gemeinsamen Sitzung der Hull Chemical and Engineering Society und der chemisch-technischen Gruppe der Society of Chemical Industry in Hull berichtete, wie wir der Zeitschrift „Engineering" vom 7. März 1924 entnehmen, E. A. Alliott über einen Fliehkraftscheider für Flüssigkeiten, dessen Trommel von rd. 100 mm Dmr. und 76 mm Länge mit 17 000 Uml./min betrieben wird[3]). Die Trommel ist an einer biegsamen Spindel befestigt, die am oberen Ende von einem Kugellager gehalten wird, und läuft unten in einen Zapfen aus, der ohne Benutzung von Kautschuk oder andern nachgiebigen Stoffen gehalten wird und durch seinen beträchtlichen Reibungswiderstand zur Beruhigung des Trommelumlaufes beiträgt. Die Spindel wird von oben her mittels Riemens, Elektromotors oder Dampfturbine angetrieben, während die Flüssigkeit durch die Höhlung des unteren Zapfens eingeführt und durch Schaufeln auf der Innenseite der Trommel schnell beschleunigt wird. Dabei steigt die Flüssigkeit zum oberen Rand der Trommel auf, wo ihre Bestandteile nach Maßgabe der spezifischen Gewichte in verschiedenen Höhen eines Scheiderkopfes entnommen werden können.

Die Ausführung der Schleudervorrichtung ist verschieden, je nachdem, ob aus der Flüssigkeit feste oder spezifisch leichtere Beimengungen abgeschieden werden sollen. Während der letztere Fall z. B. beim Klären gewisser Leimarten auftritt, spielt die erste Art der Reinigung namentlich bei der Verminderung der Aschenbestandteile von flüssigen Brennstoffen eine große Rolle. Treiböle für Dieselmotoren, die z. B. 0,065 vH Aschenbestandteile enthalten, bereiten beim Betrieb von Ma-

[3]) Über eine Fliehkraft-Schleudermaschine für Ölreinigung ist auch in Z. Bd. 67 (1923) S. 791 berichtet.

schinen große Schwierigkeiten, lassen sich aber sofort auf 0,022 vH, d. h. den üblichen Aschengehalt bringen, wenn man sie in einer solchen Vorrichtung ausschleudert. Dabei ergibt sich als weiterer Gewinn der Behandlung, daß auch das Wasser entfernt wird. Auch bei der Scheidung des Wassergasteers, worin das Öl eine schwierig zu behandelnde Emulsion mit Wasser bildet, leistet die Vorrichtung sehr gute Dienste. Während sonst die Trennung der Emulsion durch Schwerkraft und Wärme mehrere Monate erfordert, genügt es, die Flüssigkeit einmal durch die Schleuder hindurchzuleiten, wobei der fein verteilte Kohlenstoff, der die Bildung der Emulsion fördert, sofort zurückgehalten wird. Öl und Wasser trennen sich dann so schnell, daß etwa 0,8 m^3/h verarbeitet werden können. Für Laboratoriumzwecke wird eine ähnliche Schleudervorrichtung gebaut, deren Trommel 40 000 Uml./min macht. Sie dient zur Herstellung von Serum, zum Abscheiden von Bazillen aus Beimengungen des Wassers und für ähnliche Arbeiten. [M 189]

Kompressorlose Zweitakt-Dieselmaschine.

Die Ausnützung von über ⅓ des Heizwertes der Betriebstoffe hat dem Dieselmotor, zumal in der letzten Zeit, eine stets steigende Bedeutung gegeben. Nachdem diese hervorragende Wirtschaftlichkeit, die einem Treibölverbrauch von weniger als 200 g/PS_eh entspricht, erreicht war, zielte das Bestreben des Konstrukteurs auf Erhöhung der Betriebsicherheit durch Vereinfachung der Bauweise. In dieser Richtung

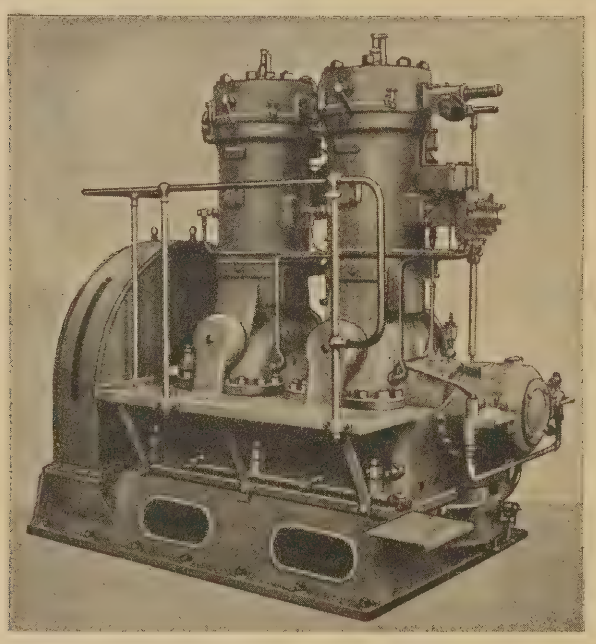


Abb. 2. Kompressorlose Sulzer-Zweitaktmaschine.

wurde schon ein wesentlicher Fortschritt durch den Übergang vom Viertakt zum Zweitakt mit Schlitzspülung erreicht. Der Wegfall von Einlaß- und Auslaßventilen sowie deren Antrieborganen (Steuerhebel, Steuerwelle usw.) bedeutet die Beseitigung einer ganzen Reihe von Störungsmöglichkeiten. Darüber hinaus war überhaupt nur noch eine Vereinfachung der Bauweise möglich: Die Einspritzung des Brennstoffs ohne Druckluft, die mit dem Wegfall des hierzu erforderlichen Kompressors eine ausschlaggebende Erhöhung der Betriebsicherheit mit sich bringt. Durch den Wegfall dieser in den meisten Fällen dreistufigen Hochdruckkolbenpumpe wurde nicht nur der Aufbau der Maschine wesentlich vereinfacht, sondern auch die Anpassung an die jeweilige Belastung verbessert. Denn die Regelung kann bei der kompressorlosen Maschine ausschließlich durch Hubverstellung der in den Zylinder unmittelbar einspritzenden Brennstoffpumpe erfolgen. Damit ist eine sofortige Anpassung an die von der Maschine geforderte Leistung ohne wesentliche Geschwindigkeitsänderungen gesichert. Der kompressorlose Zweitakt stellt die z. Zt. einfachste Kraftmaschine dar, die sich zudem durch ihre sofortige und bleibende Anpassung an den Kraftbedarf des Betriebes denkbar unabhängig von zuverlässiger Wartung erweist. In vielen Fällen wird gegenüber der Glühkopfmaschine ihre sofortige Betriebsbereitschaft von Bedeutung sein; in anderen, z. B. in feuergefährlichen Betrieben oder beim Antrieb von Tankschiffen der Wegfall der Feuersgefahr, der mit dem Anheizen des Glühkopfes durch Lötlampen verbunden ist. Die kompressorlosen Zweitakt-Dieselmaschinen, die in Deutschland von Gebrüder Sulzer A.-G., Ludwigshafen a. Rh., gebaut werden, Abb. 2, sind daher für das Gewerbe und das Kleinschiff die gegebenen Antriebmaschinen. Sie umfassen bei verschiedener Größe mit einem bis vier Zylindern den Leistungsbereich von 20 bis 300 PS. Für den Schiffsantrieb werden sie mit Wendegetriebe oder Umsteuerschraube ausgestattet; Dieselmaschinen für größere Leistungen werden auch umsteuerbar gebaut. [R 227]

Der Dieselmotor in der Flußschiffahrt.

Nachdem der Dieselmotor in der Seeschiffahrt als Antriebmaschine für Schiffe bereits in großem Umfang Eingang gefunden und seine wirtschaftliche Überlegenheit gegenüber dem Dampfantrieb erwiesen hat, beginnt er in neuerer Zeit auch in der Flußschiffahrt rasch Fuß zu fassen. Insbesondere kommt ihm beim Wiederaufbau unserer Flußschiffahrtflotte, der jetzt einzusetzen begonnen hat, infolge der ihm eigenen Vorteile größte Bedeutung für die Schaffung möglichst wirtschaftlicher Schiffe zu.

Die Reederei Franz Haniel & Cie., G. m. b. H., Duisburg-Ruhrort, hat als erste auf ihrem Schlepper „Haniel 28", dem zurzeit größten Schraubenschlepper auf dem Rhein, den Dieselmotor auf Flußschiffen dieser Größe zur Einführung gebracht. Die von der MAN erbauten Maschinen[1]) leisten je 900 PS_e. Die bisherigen Erfolge und Leistungen dieses Schiffes haben gezeigt, daß der Dieselmotor auch in der Flußschiffahrt allen Anforderungen an Manövrierfähigkeit und Betriebsicherheit entspricht. Der Bau weiterer großer Dieselmotorenschlepper ist daher in Aussicht genommen.

Daneben macht sich auch das Bedürfnis nach hochwertigen Dieselmotoren mittlerer und kleiner Leistung immer stärker geltend. Der

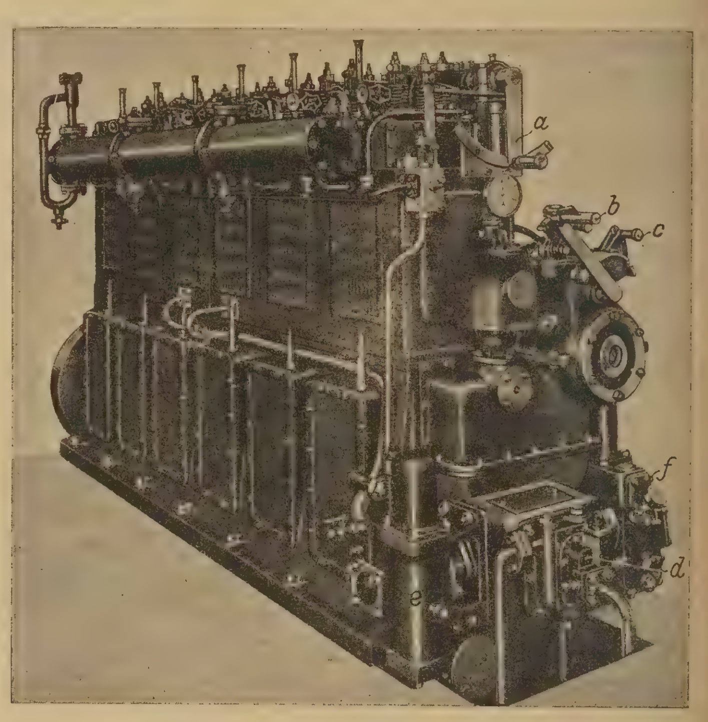


Abb. 1. Kompressorloser Dieselmotor von 100 PS_e für Flußschiffe, gebaut von der MAN.

Wettbewerb mit dem Glühkopfmotor, dem der Dieselmotor in bezug auf Brennstoff- und Schmierölverbrauch sowie Manövrierfähigkeit und sofortige Betriebsbereitschaft an sich überlegen ist, erfordert hier eine Maschine, die in Bauart und Bedienung besonders einfach ist. Die MAN, Werk Augsburg, hat neuerdings einen kompressorlosen Viertakt-Dieselmotor auf den Markt gebracht, bei dessen Konstruktion besonders auf die Anforderung des Schiffsbetriebes Rücksicht genommen wurde.

Abb. 1 zeigt einen Sechszylindermotor dieser Bauart, der bei rd. 300 Uml./min 100 PS_e leistet. Der Brennstoff wird durch die Brennstoffpumpe unter hohem Druck unmittelbar eingespritzt[2]). Die Maschine ist umsteuerbar, so daß Wendegetriebe oder Umsteuerschrauben entfallen. Beim Anlassen der Maschine, das ohne Vorbereitung aus kaltem Zustand erfolgen kann, legt man den Anlaßhebel *a* in die linke Endstellung. Nach einigen Umdrehungen mit Anlaßluft wird der Hebel in die rechte Rast gelegt, worauf alle Zylinder Brennstoff erhalten. Beim Umsteuern der Maschine wird zunächst der Anlaßhebel *a* in Mittelstellung gelegt und damit die Maschine abgestellt. Dann wird der Umsteuerhebel *b* um etwa ⁴/₅ Umdrehung herumgelegt, worauf die Maschine in der neuen Drehrichtung angelassen werden kann. Das Umsteuern von „voll voraus" auf „voll zurück" dauert etwa 6 bis 10 s. Zum Einstellen der Füllung dient der Handhebel *c*.

Alle Lagerstellen usw. werden mit Drucköl geschmiert, das die auf der Kurbelwelle sitzende Zahnradpumpe *d* fördert. Die Kurbelwelle treibt auch die Kühlwasserpumpe *e* und die Lenzpumpe *f*.

Eine größere Anzahl von Motoren dieser Bauart von 100, 200 und 250 PS_e für den Antrieb von Güterbooten sind für Reedereien an der Donau und am Rhein zur Zeit bei der MAN, Werk Augsburg, im Bau. Wie wir hören, werden die ersten dieser Schiffe schon in kurzer Zeit in Betrieb kommen. [R 240]

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 682. [2]) Z. Bd. 67 (1923) S. 809.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 19 SONNABEND, 10. MAI 1924 BD. 68

INHALT:

63ste Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover, 1. bis 3. Juni 1924.

Sonnabend, den 31. Mai 1924.

Versammlung des Vorstandsrates.

Zeit: Vormittag 8.30 Uhr. Ort: Kaisersaal des Hotel Kasten.

Tagesordnung: Vergl. Zeitschrift Nr. 13.

BEGRÜSSUNGSABEND DER TEILNEHMER AN DER HAUPTVERSAMMLUNG
durch den Hannoverschen Bezirksverein.

Zeit: Abends 7.30 Uhr. Ort: Ausstellungshalle der Stadthalle.

Sonntag, den 1. Juni 1924.

Hauptversammlung.

GESCHÄFTLICHE VERHANDLUNGEN (nur für Vereinsmitglieder).

Zeit: Vormittag 9 Uhr. Ort: Städtisches Opern- und Schauspielhaus in Hannover.

1. Geschäftsbericht der Direktoren.
2. Bericht der Rechnungsprüfer. Genehmigung der Rechnungen der Jahre 1922 und 1923 und Entlastung des Vorstandes.
3. Wahl zweier Rechnungsprüfer und ihrer Stellvertreter für die Rechnungen des Jahres 1924.
4. Änderung der Satzung.
   a) Verminderung der Mitgliederzahl des Vorstandsrates; § 31.
   b) Lieferung der Mittwoch-Ausgabe anstatt der Sonnabend-Ausgabe der Zeitschrift; § 16.
   c) Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern; § 23 Abs. 4.
5. Entgegennahme und Besprechung des Berichtes über die Verhandlungen, Wahlen und Beschlüsse des Vorstandsrates.
6. Bestätigung der mit schriftlicher Abstimmung im Vorstandsrat gefaßten Beschlüsse vom Januar 1924.

WISSENSCHAFTLICHE VERHANDLUNGEN.

Zeit: Vormittag 10.15 Uhr. Ort: Städtisches Opern- und Schauspielhaus.

1. Eröffnungsansprache des Vorsitzenden. 2. Begrüßungen. 3. Ehrungen.
4. Vorträge.
   a) Exz. v. Miller, München: Probleme des Luftverkehrs.
   b) Dir. Dr.-Ing. Mader, Dessau: Flugzeugbau.
   c) Prof. Dr.-Ing. H. Baer, Breslau: Die Entwicklung des Flugmotors in der Zeit nach dem Kriege.

Pause:

Frühstück im Erfrischungsraum des Opern- und Schauspielhauses und in den benachbarten Lokalen.

Nachmittag 3 Uhr Fortsetzung der Vorträge.

   d) Prof. Dr.-Ing. eh. C. Matschoß, Berlin: Aus der Entwicklungsgeschichte des Luftschiffbaues.
   e) Dr.-Ing. E. H. Schulz, Dortmund: Die Nichteisenmetalle unter besonderer Berücksichtigung der Luftfahrzeuge.

GEMEINSAMES ABENDESSEN.

Zeit: Abends 7 Uhr. Ort: Ausstellungshalle der Stadthalle.

Sonnabend, den 31. Mai 1924:

WISSENSCHAFTLICHE FACHTAGUNGEN.

I. Sitzung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure.

Vorsitz: Otto Klein.

Zeit: Nachmittag 2.30 Uhr. Ort: Hörsaal Nr. 151 der Techn. Hochschule.

Vorträge:

a) Prof. Schwerd, Hannover: Abfallwirtschaft.
b) Otto Klein, Wülfel: Die Bewirtschaftung der Hilfsstoffe.
c) Anschließend an die beiden Vorträge Besprechung der Obmänner der Ortsgruppen der ADB mit Referat von Dr.-Ing. Friedrich, Hannover, über: Neue Aufgaben der Betriebswissenschaften.

Zeit: Nachmittag 2.30 Uhr. Ort: Hörsaal Nr. 217 der Techn. Hochschule.

Dr.-Ing. Rummel, Düsseldorf: Wirtschaft und Wissenschaft im technischen Betriebe. Betrachtungen aus der Perspektive eines Wärmeingenieurs.

Montag, den 2. Juni 1924.

II. Bedeutung der Forschungsergebnisse und Konstruktionserfahrungen der Luftfahrttechnik für das Ingenieurwesen.

Vorsitz: Direktor Dr.-Ing. eh. ter Meer.

Zeit: Vormittag 8.30 Uhr. Ort: Hörsaal Nr. 151 der Techn. Hochschule.

Vorträge:

a) Prof. Dr. Prandtl, Göttingen, und Prof. Dr.-Ing. Föttinger, Danzig: Fortschritte der Strömungslehre.
b) Prof. A. Baumann, Stuttgart: Leichtbau.
c) Prof. Dr.-Ing. Pröll, Hannover: Wissenschaftliche Grundlagen des Segelfluges.

RUNDFLÜGE.

Zeit: Nachmittag 4 Uhr. Ort: Flugplatz Hannover.

Rundflüge unter Mitwirkung des Verbandes deutscher Flugzeugindustrieller. (Flugleitung Deutscher Aero-Lloyd.)

Preis pro Rundflug für Inhaber der Teilnehmerkarte: 20 ℳ, für Nichtinhaber der Teilnehmerkarte: 30 ℳ.

Für den Abend sind Filmvorführungen in der Stadthalle in Aussicht genommen.

III. Deutscher Ausschuß für technisches Schulwesen.

Vorsitz: Geh. Baurat Dr.-Ing. eh. Lippart.

Zeit: Vormittag 8.30 Uhr. Ort: Hörsaal Nr. 213 der Techn. Hochschule.

Vorträge:

a) Betriebsdir. Hanner, Nürnberg: Die Praktikantenausbildung.
b) Dr.-Ing. Friedrich, Hannover: Das Anlernen von Arbeitern auf Grund von Fähigkeitsprüfungen.
c) Dr.-Ing. Schmid, Friedrichshafen: Die Gesellenprüfung in der Industrie.

Ausstellung des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen in der Technischen Hochschule
während der ganzen Hauptversammlung.

IV. Dieselmaschinengruppe.

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Nägel.

Zeit: Vormittag 8.30 Uhr. Ort: Hörsaal Nr. 217 der Techn. Hochschule.

Berichte und ausführliche Besprechungen.

a) Obering. M. W. Gerhards: Kritische Betrachtung über die Vorteile der nicht umsteuerbaren Schiffsdieselmaschinen mit Umsteuerzwischengetriebe gegenüber den unmittelbar umsteuerbaren Schiffsdieselmaschinen.
b) Dr.-Ing. Riehm und Dr.-Ing. Heidelberg: Brennstoffeinspritzung an kompressorlosen Maschinen.
c) Prof. Dr.-Ing. K. Neumann, Hannover: Das Laboratorium für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Hochschule Hannover.

Gleichzeitig sind von 10 bis 2 Uhr die neuen Institute der Fakultät für Maschinenwirtschaft der Technischen Hochschule zur Besichtigung geöffnet, und zwar die Laboratorien für 1) Dampfmaschinen einschl. Heiz- und Kraftwerke, 2) Pumpen- und Hebemaschinen, 3) Verbrennungskraftmaschinen, 4) Wasserkraftmaschinen, 5) Werkzeugmaschinen.

Dienstag, den 3. Juni 1924.

BESICHTIGUNGEN.

An den mit * bezeichneten Besichtigungen können auch Damen teilnehmen.

I. Tagesausflüge.

Gruppe 1.* Eisenerzlager und Hochofenanlagen in Groß-Ilsede bei Peine und Peiner Walzwerk in Peine.
Gruppe 2.* Steinhuder Leinenindustrie von Gebr. Bretthauer und einige Handwebereien, verbunden mit einem Ausflug an das Steinhuder Meer.
Gruppe 3. Aerodynamische Versuchsanstalt der Universität Göttingen (Prof. Dr. Prandtl).

II. Halbtagesausflüge.

A. Vormittag.

Gruppe 4. 8 Uhr. Hannoversche Portland-Cementfabrik A.-G. Misburg.
Gruppe 5. 8¼ Uhr. Großkraftwerk Hannover in Ahlen bei Hannover.
Gruppe 6. 8¼ Uhr. Gebr. Körting A.-G., Hannover-Körtingsdorf.
Gruppe 7.* 8¼ Uhr. Hackethal-Draht- und Kabelwerke Hannover.
Gruppe 8.* 8½ Uhr. Zigarettenfabrik „Constantin", Hannover.
Gruppe 9.* 8½ Uhr. Pelikan-Werke von Günther Wagner, Fabrik für Künstlerfarben, Tuschen usw., Hannover, Podbielskistraße.
Gruppe 10. 8½ Uhr. Eisenwerk Wülfel, Spezialfabrik für Transmissionen, Hannover-Wülfel.
Gruppe 11*. 8½ Uhr. Hannoversche Waggonfabrik, Hannover-Linden.
Gruppe 12*. 8½ Uhr. Hanomag (Hannoversche Maschinenbau-Actien-Gesellschaft vorm. Georg Egestorff), Hannover-Linden.
Gruppe 13. 8¾ Uhr. Hannoversche Glashütte, Hannover-Hainholz.
Gruppe 14.* 8¾ Uhr. Bodes Geldschrankfabriken, Hannover, Engelbostelerdamm.
Gruppe 15. 8¾ Uhr. Vereinigte Schmirgel- und Maschinenfabriken, Hannover-Hainholz.
Gruppe 16. 9 Uhr. Geschäftsbücherfabrik König & Ebhardt, Hannover.
Gruppe 17. 9 Uhr. Geschäftsbücherfabrik Edler & Krische, Hannover.
Gruppe 18. 9 Uhr. Continental-Caoutchouc- und Guttapercha-Comp., Hannover.
Gruppe 19. Voßwerke, Fabrik für Kochapparate, Öfen, Gasapparate, Eisengießerei in Sarstedt.
Gruppe 20.* 10 Uhr. Städt. Lagerbierbrauerei Hannover.

B. Nachmittag.

Gruppe 21.* 3¼ Uhr. Lindener Actien-Brauerei, Hannover-Linden, Blumenauerstraße.
Gruppe 22. Kaliwerk; nähere Angaben folgen noch.

Bestellungen von Teilnehmerkarten und Wohnungen.

Die Teilnehmer an der Hauptversammlung werden im eigenen Interesse gebeten, die Teilnehmerkarten und Wohnungen möglichst umgehend bei der Geschäftsstelle des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin NW 7, Sommerstraße 4 a, Abteilung O, zu bestellen.

Der Vorsitzende des Vereines deutscher Ingenieure.
Dr. G. Klingenberg.

Brennende Probleme der Betriebsorganisation und ihre natürliche Lösung.

Von Dr.-Ing. Georg Schlesinger, Professor an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg.

Es wird der Satz bewiesen, daß die Betriebsarbeit einer Fabrik nicht zweckentsprechender organisiert werden kann, als wenn man sie so einrichtet, daß sie mit der Ausführung die Abrechnung liefert.

In einer Fabrik müssen Anlage, technische Einrichtung und Fertigung einerseits und Führung, Überwachung und Abrechnung der Arbeit andererseits eine Einheit bilden, Technik und Verwaltung müssen eins sein, sonst wird die höchste Leistung eines Unternehmens nie erreicht.

Diese Feststellung kann man als selbstverständlich oder sogar als eine billige Phrase bezeichnen, und doch findet man unter 100 Fabriken höchstens eine, die diese ideale Forderung erfüllt.

Es kommt eben sehr selten vor, daß technisches und kaufmännisches Bein einer Unternehmung gleich lang sind, und noch seltener ist in einem Unternehmen der überragende Leiter vorhanden, der die Glieder des industriellen Körpers zum harmonischen Wirken bringt.

Nicht jeder Betriebsdirektor ist sich bewußt, daß „Organon" Werkzeug bedeutet, in dem Sinn eines geformten und gewissermaßen persönlichen Teiles desselben Wesens; daß jedes Organ den Grund seines Daseins nur in dem Ganzen hat, zu dem es gehört, nur im Zusammenhang mit diesem Ganzen dauerndes Leben besitzt. Die Organisation darf kein gekauftes, äußerlich angezogenes Kleid sein, das man beliebig durch ein andres ersetzen kann. Auch dann darf sie nicht bloß „Kleid" sein, wenn ein solches „nach Maß" gearbeitet ist. Die Organisation muß vielmehr die Haut sein, die auf dem Körper der Fabrik als genau passender unentbehrlicher Abschluß angewachsen ist, zu ihm unabweisbar gehört; denn erst die Vereinigung verschiedener Organe zu einem lebensfähigen Ganzen heißen wir Organismus und die zielbewußte Anordnung, Überordnung und Unterordnung der vereinigten Organe zueinander heißen wir Organisation.

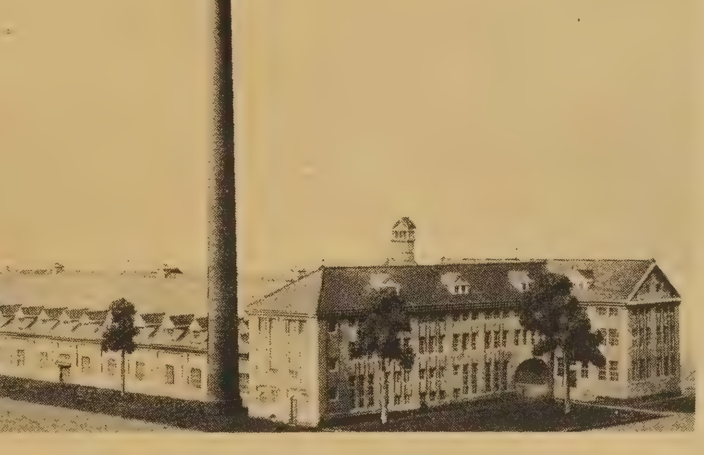


Abb. 1. Fabrikanlage Donau-Tiegelwerk A.-G. in Nürnberg.

An dem Beispiel einer mittleren Fabrik von etwa 150 Arbeitern mit sehr einfachem Herstellungsgegenstand, der in der Regel in größerer Anzahl unter Benutzung bestimmter normalisierter Vorarbeiten, unter Umständen aber sogar in Massen hergestellt wird, will ich die in der Einleitung geäußerten Grundsätze zu beweisen suchen.

Die Fabrik ist das von mir zusammen mit meinem damaligen Assistenten Dipl.-Ing. Tama vor etwa 3 Jahren geplante, errichtete und in Betrieb gesetzte Donau-Tiegelwerk in Nürnberg, Abb. 1. Plan, Bau und Einrichtung stützten sich auf eine alte vorhandene Fabrikationseinrichtung, die viele Jahre hindurch in alten Gebäuden mit einfachen Maschinen, nur durch einen Meister geführt, mit recht gutem Erfolg gearbeitet hatte, sowohl was die Güte der Tiegel, als die Kosten ihrer Herstellung anlangte. Die Tiegel werden in verschiedenen Größen und in verschiedener Materialzusammensetzung in der Regel aus einer Mischung von Kies, Graphit und Ton hergestellt und dienen zum Schmelzen von Messing, Stahl, Stahlguß und anderen Metall-Legierungen.

In Abb. 2 ist versucht worden, den Zusammenhang zwischen der Fabrikation und der Ermittlung des Kostenaufwandes darzustellen, wobei der äußere Kreis zeigt, wie die Rohstoffe Kies, Graphit, Ton mit der Eisenbahn ankommen und durch Förderbänder in die Lagersilos gebracht werden; der innere gibt das Anwachsen der Herstellungskosten vom Rohstoff bis zum Fertigerzeugnis.

Nur der Ton bedarf einer Vorbereitung; er wird über Trockenhorden, Tonwalze, Trockentrommel, Kugelmühle in den Tonmehl-Silo befördert. Jeder Siloausgang wird von einer selbsttätigen Wage überwacht, die den Ausgang von Rohmaterial zur Entnahmemaschine verbucht. Diese Maschine schafft die vorgeschriebenen Bestandteile der Mischung zu den Knetmaschinen, nachdem ihr aus dem Wasserbehälter die notwendige Feuchtigkeit zugeführt worden ist. Die durchgeknetete bildsame Masse gelangt mittels Wagen in den „Sumpf", wo sie etwa 2 bis 3 Wochen zum „Garwerden" lagert. Von hier kommt das Gemisch zu den Tonschneidemaschinen, die es in Wurstform auspressen und je nach der Größe der verlangten Tiegel die nötige Länge abschneiden. Darauf gelangt der Rohstoff entweder auf die Drehbank, welche die Tiegel einzeln nach der Schablone bearbeitet, oder auf die hydraulischen Pressen, wo Tiegel in Massen hergestellt werden. Geeignete Förderwagen schaffen dann das geformte, sehr empfindliche Gut in eine im Dachgeschoß liegende Vortrockenkammer; von dieser gelangt es durch ein Förderwerk zum kontinuierlichen Kammerofen im Erdgeschoß, wo sie im Hochfeuer gebrannt werden. Mittels eines letzten Förderbandes werden dann die Tiegel ins Fertiglager gebracht und von hier aus je nach Auftrag auf die Eisenbahn verladen.

Diesem tatsächlichen Geschehen folgt die begriffliche Abrechnung in jeder einzelnen Stufe; sie ist als Innendienst im Kreisinnern dargestellt und häuft die entstehenden Kosten in dem Maße zusammen, wie im Betrieb Aufwendungen nötig werden. Dabei wird als Maßstab in der Regel das Tiegelgewicht in kg zugrunde gelegt; die einzelnen Kostenaufwendungen entstehen aus: dem Materialaufwand, den Zusatzkosten für das Material (Güteprüfung, Einlagerung, Pflege usw.), der Tätigkeit der Arbeiter, den Förderkosten, den Ortskosten[1]), usw.

An jedem Ort entstehen außer den Material- und Lohnaufwendungen noch erhebliche Werkkosten durch Verbrauch von Kraft, Licht, Dampf, Wasser, durch Raummiete, Meister- und Revisorengehälter, Boten- und Reinigungsdienst, Abschreibungen und Verzinsung usw. Schließlich kommen noch die Lagerkosten auf dem Fertiglager hinzu und das Bild der „Kalkulationsformel" ist fertig.

Die Abrechnung als Nebenprodukt.

Jeder wird sagen, anders kann man das eigentlich gar nicht machen, denn das ist doch alles selbstverständlich. Bei sehr vielen Lesern allerdings wird sich das Gefühl regen: Ach, wenn es doch bei uns so wäre! Und was können wir tun, um unsere Einrichtungen auf diese Höhe zu bringen?

Diesem Stoßseufzer und seiner Erfüllung wollen wir nunmehr nachgehen. Er läßt sich in die Formel fassen: „Die Betriebsarbeit einer Fabrik nebst ihrer Einrichtung kann nicht zweckentsprechender organisiert werden, als wenn man sie so einrichtet, daß sie mit der Ausführung die Abrechnung liefert." Die Abrechnung muß als Nebenprodukt aus der Tätigkeit herausfallen!

Eine Fabrik, die nicht so eingerichtet ist, ist nicht zweckentsprechend organisiert. Mit der Anerkennung dieser Formel aber tritt die Abrechnung mit einer Wucht neben die Arbeit, die bisher unbekannt war, und man wird wohl oder übel gezwungen, Einrichtungen zu erdenken und Forderungen aufzustellen, die nach Güte und Schärfe nicht leicht erfüllbar sind.

[1]) Unter Ort wird die jeweilige Arbeitstelle bezeichnet, z. B. Tonaufbereitung, Mischung, Sumpf, Dreherei, Presserei, Trockenkammer, Brennerei usw.

Die erste Erkenntnis ist: Soll die Abrechnung[1])

1. rechtzeitig,
2. richtig,
3. selbsttätig

mit dem Erzeugnis fertig werden, so muß die Fabrikation zweckmäßig, ohne jeden Umweg und störungsfrei geführt worden sein.

Zweckmäßig heißt: Mit besten Fabrikationseinrichtungen hergestellt.

Ohne jeden Umweg bedeutet: Das Arbeiten in richtig angeordneten Räumen mit kürzesten Wegen bei ausreichenden Fördermitteln.

Störungsfrei verlangt eine bis ins einzelne gehende Arbeitsvorbereitung; das ist Materialbereitstellung sowie Schlagfertigkeit von Maschinen und Menschen.

Kurz: Wir verlangen Einheit zwischen Anordnen, Ausführen, Kontrollieren, Abrechnen.

Abb. 2. Einheit zwischen Herstellung und Abrechnung.

Der Kaufmann und der Techniker.

Man bemerkt bei dieser Aufzählung bereits, daß es kein getrenntes kaufmännisches und technisches Bein mehr gibt, sondern nur einheitlichen Organismus; denn Anordnen und Ausführen ist technisch, Abrechnen ist kaufmännisch. Materialversorgen und Kontrollieren teils technisch, teils kaufmännisch; denn die technische Kontrolle ist unvollkommen, wenn die kaufmännische ihr nicht die Hand reicht. Organisatoren, die diese Notwendigkeiten nicht klar unterscheiden und in Wirklichkeit umsetzen können, sind keine Organisatoren.

Ein Blick auf Abb. 2 zeigt, daß hier die Fabrikationseinrichtung (technische Ausrüstung und bauliche Anlage) verhältnismäßig einfach ist. Das gleiche gilt von der Arbeitsausführung, denn der Gegenstand der Herstellung, der Schmelztiegel, ändert sich hauptsächlich in der Größe und Form, wenig dagegen in der Zusammensetzung der Mischungen. Die Kosten des Materiales im Silo sind daher immer aus dem Beschaffungspreis frei Fabrikhof plus dem Transport in den Silo plus den Kosten für die Tontrocknung gegeben. Und damit ist eigentlich alles Technische selbstverständlich. Der Betriebsleiter hat nur mit der Behandlung und Veredelung des Materials zu tun; vom Silo zum Sumpf, zu den Formdrehbänken oder Pressen, zur Vortrocknung, zum Fertigbrennofen. Er konstruiert, mischt, fabriziert nach Lust. Was geht ihn die Abrechnung an!

Der Kaufmann dagegen beschafft das Geld, kauft die Rohstoffe, bezahlt die Leistung der Arbeiter und Angestellten, sowie die übrigen Werkkosten, berechnet, daraus den Kostenaufwand für die Stücke und verkauft die Ware; Konstruieren und Fabrizieren interessiert ihn wenig. Er verfolgt nur, wie sein Geld zur Ware wird, die Ware zur Kundenforderung, die Kundenforderung zum Bankguthaben, das Bankguthaben wiederum zum Geld, und er ist zufrieden, wenn das Endgeld größer ist als das Anfangsgeld. Was geht ihn das bißchen Technik an!?

Bei einer so einfachen Fabrik, wie der vorliegenden, ist aber meist der kaufmännische und der technische Leiter eins. Das Mindestmaß von Menschen in der Leitung tritt dann ein. Von kaufmännischen und technischen Einzelgliedern kann man nicht mehr reden, ein Leiter ist da: und wenn es diesem nicht gelingt, kraft seiner Kenntnisse und Fähigkeiten das tatsächliche Geschehen und die zahlenmäßige Abrechnung zur Einheit zu verschweißen, dann bleibt trotz guter Einzeleinrichtungen auf beiden Seiten seinem Unternehmen der Erfolg versagt; auch wenn er als Techniker ein noch so tüchtiger Konstrukteur und Fabrikant, oder als Kaufmann ein noch so tüchtiger Einkäufer und Verkäufer ist.

Wer nun das Bild, Abb. 2, ansieht, wird äußerlich nichts auszusetzen haben. Geht er die technischen Einrichtungen des Außenkreises durch, so wird er sie gut, zweckmäßig und zwangläufig finden, geht er die kaufmännischen des Innenkreises durch, so findet er das gleiche. Aber was geschieht, wenn — was in den allermeisten Fabriken der Welt die Regel ist — der innere Kreislauf der Abrechnung um 8 Wochen gegen den äußeren Kreislauf der Fabrikation verschoben wird, ohne daß am organischen Aufbau sachlich irgend etwas geändert wurde? Für den Kundigen ist das Ergebnis klar: die Abrechnung wird unbrauchbar, weil sie nicht rechtzeitig erscheint. Der Techniker weiß nun nicht, ob er preisgerecht fabriziert, und der Kaufmann weiß nicht, ob er mit Nutzen verkauft hat.

Und was geschieht, wenn zwar die Summe der Herstellkosten für die Tonne des Fertiggutes rechtzeitig ermittelt ist, wenn aber die einzelnen Glieder der Fabrikationsformel mit Fehlern behaftet sind, die darin bestehen können, daß Vertauschungen in sich stattgefunden haben? Dann wird die Abrechnung für den Betriebsleiter wieder nicht brauchbar, weil sie ihm über den Aufwand für die einzelnen Erzeugnisse falschen Aufschluß erteilt. Sie ist also nicht zuverlässig und nicht richtig; denn es darf uns in einer Fabrik nicht genügen, „abgestimmte" (!) Endsummen zu bekommen, während die einzelnen Posten an unrichtigen Stellen stehen. Die rentable Führung der Fabrik ist auf die Dauer unmöglich, wenn man nicht die Wirkung jedes einzelnen Postens in der Rechnung übersehen und werten kann. Die verantwortliche Einzelarbeit ist unerläßliche Vorbedingung für das Gelingen des Ganzen. Beide Fehler zusammen:

1. zeitliche Verschiebung und
2. unrichtige Verteilung,

bedeuten aber, daß die Abrechnung nicht gleichzeitig mit der Ausführung hergestellt wird, daß sie nicht mehr mit ihr zusammenfällt, daß sie also nicht selbsttätig arbeitet; denn jeder

[1]) Vergl. Just, „Werkstattstechnik" vom 1. März 1923.

kleinsten Tätigkeit in der Fabrik, z. B. der Entnahme einer Schraube aus dem Lager, muß ein Abrechnungsvorgang gegenüberstehen. Wenn also die leider „übliche" zeitliche Verschiebung der Abrechnung eintritt, dann kann die Abrechnung nicht selbsttätig wirken. Dann aber braucht sie — und das ist die unheilvolle Folge — auch einen besondern Apparat, der von der technischen Tätigkeit abgetrennt ist. Dieser kostet Geld und Menschen und liefert doch nicht das gewünschte Ergebnis. Er kann es nicht, weil er von vornherein gegen den Grundsatz verstößt, der oben aufgestellt ist, und daher müssen die üblichen Verfahren und Mittel unrichtig sein.

Fassen wir die Fehler zusammen:

1. Die Abrechnung ist nicht prompt, weil das tatsächliche Geschehen gegen die begriffliche Abrechnung verschoben wird.

2. Die Abrechnung ist nicht richtig, weil die Prüfung in sich fehlt; der Abrechner hat das Bilanzgesetz des Fabrikgeschehens nicht verstanden, trotzdem er ein tüchtiger Buchhalter sein mag, oder er konnte es nicht anwenden, trotzdem er Fabrikleiter ist. Die Übereinstimmung der Lohnsumme für alle Arbeiter mit der Belastungssumme für alle Aufträge kann stimmen, und doch können alle Aufträge falsch belastet sein, weil falsch verteilt statt richtig angerechnet wurde.

3. Die Abrechnung ist nicht selbsttätig, d. h. sie fällt nicht aus der Tätigkeit des Unternehmens als natürliches Nebenprodukt und daher mit Kontrolleigenschaft an. Sie verlangt daher teuren Apparat an Menschen und Mitteln, das Unternehmen ist überorganisiert, weil es die unentbehrlichen Abrechnungsunterlagen haben muß.

Der Umfang der Organisation.

Damit kommen wir zu dem brennenden Problem. Wo ist der Maßstab für die Organisation und wo ist ihr Ziel? Die einfache Antwort lautet: Nur die Abrechnung kann der Organisation Maß und Ziel liefern, kann dem Gefühl und der Erfahrung des tüchtigen Betriebsleiters die sichere, d. i. meßbare Unterlage geben. Konstruktion und Fabrikation sind selbstverständliche Voraussetzung; sie müssen hervorragend sein, sonst ist überhaupt kein ernsthafter Wettbewerb des Unternehmens innerhalb eines Industriezweiges möglich; aber ein Fabrikleiter hat nunmehr vor allem und zuerst die Pflicht, das ihm anvertraute Fabrikvermögen zu vermehren, mindestens zu erhalten.

Fabriken rentabel machen, heißt ihr Vermögen zweckmäßig verwalten! In dieser Kunst war der Kaufmann bisher dem Techniker überlegen; auch hervorragende Ingenieure spielten in der Fabrik solange die zweite Geige, als sie Nurtechniker im engen Gesichtskreis ihrer hohen Kunst blieben und nicht Ver-

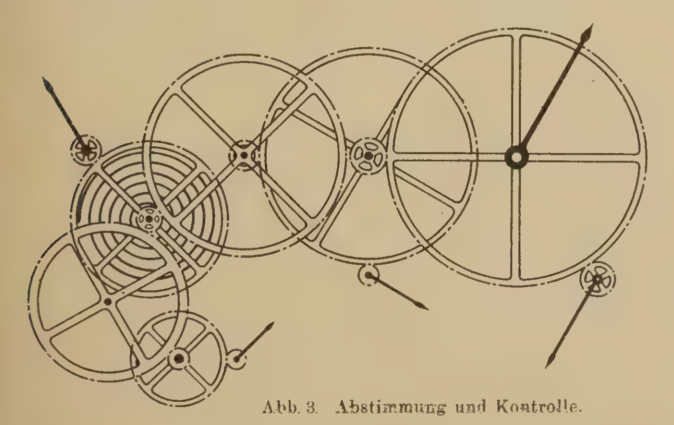


Abb. 3. Abstimmung und Kontrolle.

walter des Fabrikvermögens wurden. Schuld daran ist in allen Industriestaaten der Welt die ausschließliche Beschäftigung der Ingenieure mit den technischen, natürlich höchst wichtigen Einzelheiten, ihr Aufgehen in dem von Amerika so stark entwickelten Taylorschen System unter dem Schlagwort „Scientific Management". Das empirische Können beherrscht die heutige Fabrikwissenschaft; die wirtschaftliche Fertigung gestützt auf Massenfabrikation, Zergliederung der Arbeit, Zeit- und Bewegungsstudien, Arbeitsfolgen, Pläne, Bankbesetzungstafeln, Rechenschieber, Rechenmaschinen, Normalien, Sonderwerkzeuge, Transportmittel, Funktionsmeister, Arbeitsbureau usw. usw., alles das — und jeder einzelne Punkt ist ungeheuer wichtig — füllt den Geist der Ingenieure und oft auch der Fabrikleiter[1]) in einem Maß aus, daß ihnen für die eigentlichen Grundgesetze der Organisation die Wertschätzung abhanden gekommen ist. Gegen diese Empirie der Meisterwirtschaft im edelsten Sinne setzen wir die Wissenschaft der Verwaltung, die das Lebensgesetz des Unternehmens sucht und aus diesem die Grundgesetze der Verwaltung herausschält. Wenn sie diese hat, so kann sie jede Aufgabe lösen; und zunächst innerhalb eines Industriezweiges, schließlich, wenn alle Zweige erforscht sind, darüber hinaus das Grundgesetz der Verwaltung für alle Gewerbe eines arbeitenden Volkes.

[1]) E. Rathenau sagte darüber drastisch: Ein konstruierender Direktor ist unbrauchbar! Als Direktor bestimmt, als Konstrukteur meist.

Die Grundgesetze der Verwaltung.

Kehren wir zur Beweisführung zurück: Die beiden Gesetze, die wir aus dem einfachen Beispiel der Tiegelfabrik entwickelt haben, sind:

1. das Gesetz des tatsächlichen Geschehens,
2. das Gesetz der begrifflichen Abrechnung.

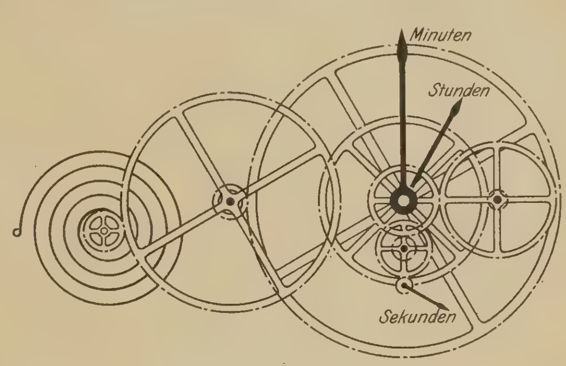


Abb. 4. Zwanglauf.

Gesetz 2 liefert allein den Maßstab für Gesetz 1 und damit das Ziel der Fabrikrentabilität, die sich nun nicht mehr aus den Mosaiksteinen des Taylorsystems zusammensetzt, sondern von vornherein auf das Ganze geht und niemals das Ganze aus dem Auge verliert, mögen die einzelnen Glieder auch noch so interessant sein.

Gefühl und Erfahrung, die Kennzeichen des Meisters und der Meisterwirtschaft werden durch den bewußt und planmäßig nach Maßstäben und Meßverfahren arbeitenden Verwalter ersetzt. Durch die Meisterschaft, mit der er Menschen und Maschinen zur Einheit verschweißt, schafft er mit einfachen Verfahren und Mitteln und einer Mindestzahl von Menschen mehr und Besseres, als mit den feinst ausgeklügelten Bureaumaschinen der Welt.

Z. B. bringen alle Zeitstudien einer Fabrik auch nicht annähernd solche Erfolge, wie eine geordnete, auf die Minute funktionierende Materialversorgung. Wenn das Material nicht rechtzeitig zur Stelle ist, kann der Arbeiter nicht arbeiten, trotz der gut ausgearbeiteten Unterweisungskarte. Es kommt eben darauf an, alle Organe des Unternehmens gleichmäßig zu kräftigen und zu beschäftigen und keinem übertriebene Vorliebe angedeihen zu lassen. Die Organe vollführen dann immer nur die Tätigkeit, die ihnen der Leiter zuweist, so wie das Zentralgehirn auf den Reiz die Reaktion rechtzeitig, richtig und selbsttätig auslösen muß.

Wie Auge, Ohr, Hand und Fuß als Glieder eines Körpers nie eine andere Tätigkeit ausführen als die, für die sie die Natur geschaffen hat, so sollte in den künstlichen Organismen, die der Mensch aufbaut, die Zweckmäßigkeit des Organes dem ihm zugewiesenen Arbeitsvorgang genau angepaßt sein.

Nur der Blinde versucht mit der Hand zu sehen, der Taube mit den Augen zu hören, weil eines seiner Organe in der natürlichen Bestimmung gestört oder verhindert ist. Wie aber diese Organe die geringste Störung eindeutig und nachdrücklich ihren menschlichen Trägern mitteilen und gebieterisch Abhilfe fordern, so muß der Fabrikleiter durch ein Kontrollwerk, das selbsttätig wirkt, von seinen Organen die Meldung verlangen, und zwar unmittelbar nach Eintritt der Störung, so daß sein rechtzeitiger Eingriff möglich wird; bei störungsfreiem Betrieb ist kein Eingriff nötig.

Aufgaben der Abrechnung.

Dieses selbsttätig rufende Zentralorgan kann nur die richtig eingefügte Abrechnung sein. Man hat sie mit einem Spiegel verglichen. Aber ein Spiegel ist ein passives Instrument, das nur spiegelt, wenn man hineinschaut, und nur ein Fähiger kann aus dem farbigen, fein abgetönten Bild die Fehler herausfinden. Besser ist schon der Vergleich mit dem Schatten, der von dem Urheber geworfen werden muß, der untrennbar vom erregenden Gegenstand ist, der immer da ist und den man nur so

auffangen muß, daß er keinen verzerrten Umriß gibt. Der Schattenriß muß charakteristisch sein, er muß die Hauptkennzeichen des Urbildes treffend, in knappster Form wiedergeben. Dann erst läßt sich aus der Kontrolle des tatsächlichen Geschehens das Werkzeug schmieden, welches an die Stelle der Passivität eines zu spät kommenden Richters[1]) der Vergangenheit (nach der Tat) die Aktivität eines tatkräftigen Führers in der Gegenwart (während der Tat) und eines weiterschauenden Wegweisers für die Zukunft setzt. So wird die energetische Abrechnung zu einem Kunstwerk, das zugleich mit der Arbeit — also nie zu spät —, richtig, zuverlässig, in sich geprüft und selbsttätig, d. h. mit geringstem Aufwand entsteht.

Die vielen Kontrollstellen im neuzeitlichen Fabrikbetrieb gleichen einzelnen Zeigerwerken, die man im einzelnen überwachen muß, weil sie untereinander keinen Zusammenhang haben, Abb. 3. Nicht einmal der völlige Stillstand eines solchen Zeigerwerkes stört den Lauf des Unternehmens, weil es ihm nicht organisch eingegliedert, sondern unorganisch angegliedert ist.

Der Zwanglauf in der Selbstkostenkontrolle fehlt! Wir haben viele Spione statt einer einzigen vorbedachten Leitung. An die Stelle der fahrtmäßigen Bewegung tritt die nervöse Hetzerei. Legt man alle die Zeigerwerke eines großen Betriebes zu einem gemeinsamen Anzeigezifferblatt, Abb. 4, zusammen, das Stunden, Minuten und Sekunden in unveränderlichem Zusammenhang wiedergibt, von dem unverrückbaren Sonnenstande guter Fabrikarbeit kontrolliert und durch die Triebfeder des einheitlichen Leiters bewegt wird, dann bewirkt das Ausbrechen eines einzigen Zahnes an einem einzigen Rädchen an irgend einer Stelle, daß die Uhr sofort falsch geht, was der immerwährende Vergleich mit dem tatsächlichen offenbaren Sonnenstande sofort aufdeckt. Der kleine Fehler ruft sogleich organische Störungen hervor, die nie verborgen bleiben können. Und das Schadhaftwerden oder das Versagen auch nur eines Teiles bringt den ganzen organischen Aufbau des Uhrwerkes zum Stehen.

Organismen, die der Mensch schafft, müssen klar und einfach sein. Ein Übermaß der organisatorischen Einrichtung verdunkelt die Zusammenhänge; der Hang zur Übertreibung scheint aber in der menschlichen Natur zu liegen. So werden sogar natürliche Zusammenhänge unterbrochen, und, da man ihre natürlichen Ergebnisse nicht entbehren kann, auf umständlichste Weise zu ersetzen versucht. Während die Natur dem Weltgesetz des sparsamsten Verbrauches folgt, arbeitet der unvollkommene Mensch oft (oder meist) unsparsam. Nur der ist aber ein wahrer Organisator, dem es gelingt, im Fabrikbetrieb die höchste Sparsamkeit und die größte Zweckmäßigkeit walten zu lassen, der also der Natur zu ihrem Rechte verhilft und damit die natürliche Lösung des brennenden Problems findet. [A 239]

[1]) Joh. Fried. Schär, Buchführung und Bilanz. Julius Springer, Berlin.

Untersuchungen der Luftschwingungen in Rohrleitungen von Kolbenkompressoren[1]).

Die Form des Indikatordiagramms bei Kolbenkompressoren ist nicht allein von der Bauart der Maschine und der Ventile abhängig, sondern in hohem Maß auch von den Rohrleitungen (Druckleitungen, Saugleitungen und Rohrzwischenkühlern).

Wird z. B. durch das Überströmen der Luft eines Kompressors in die Druckleitung die ruhende Gassäule im Rohr in Bewegung gesetzt, so werden sich infolge der Trägheit und der Elastizität der Luft die dem Druckstutzen naheliegenden Gasteilchen zuerst verschieben. Es entsteht an diesem Punkt eine Spannungserhöhung, die in der Lage ist, den übrigen Teil der Luftsäule in einem weit höheren Maße zu beschleunigen, als es die zuströmende Luft des Kompressors vermag. Die kinetische Energie der bewegten Gasmasse ruft jetzt eine Saugwirkung hervor, so daß eine Spannungserniedrigung am Druckstutzen eintritt. Die nächste Folgeerscheinung ist ein Zurückpendeln der Luft in das Druckrohr. Ist die Impulszahl der Maschine gleich der Eigenschwingungszahl der Luftsäule oder einem Vielfachen derselben, so herrscht Resonanz. Die Schwingungsbewegung kommt nicht zum Stillstand, sondern sie wird durch Energiezufuhr von dem Verdichter aufrechterhalten. Diese Energiezufuhr kann einen bedeutenden Umfang annehmen, so daß sich der Konstrukteur von Verdichterleitungen über die Hauptschwingungsvorgänge klar sein muß.

Die Theorie der Luftbewegung in Rohrleitungen von Kolbenmaschinen, die die Eigenschwingungszahl der Luftsäule und die Lage der Druck- und Geschwindigkeitswellen rechnerisch festlegt, stammt von Prof. Sommerfeld (Forschungsheft 106). Für die Saugleitung von Verdichtern haben Dr.-Ing. Voissel (Forschungsheft 106) und für die Druckleitung von Vakuumpumpen Dr.-Ing. Wagenblast (Forschungsheft 239) die Theorie von Prof. Sommerfeld angewendet und durch Einsetzen entsprechender Grenzbedingungen in die Grundgleichungen diese praktisch bewiesen.

Die Bedingungsgleichung für die kritische Umlaufzahl (d. h. Drehzahl bei Resonanz) ist sowohl für Saug- wie für Druckleitungen nach diesen Arbeiten

$$n_{kr} = \frac{15\,a}{m\,l} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1),$$

wobei l die Länge der Rohrleitungen in Metern, a die Schallgeschwindigkeit in Metern i. d. Sekunde und m die Ordnungszahl der Druckwellen sind. Auf die Gleichungen für die Lage der Druckwellen einzugehen, ist an dieser Stelle nicht möglich.

Wie ich nun durch eingehende Versuche festgestellt habe, läßt sich bei Rohrabzweigungen Gl. (1) nicht anwenden, da in den Nebenrohren ebenfalls Luftschwingungen auftreten, die sich den Hauptwellen überlagern.

Arbeiten zwei Kompressoren oder Vakuumpumpen auf eine gemeinsame Druckleitung, so gilt Gl. (1), falls die Anschlußrohre zu der gemeinsamen Leitung kurz sind, bei längeren Zuführungsrohren treten jedoch ebenfalls Nebenwellen auf. Zur Ermittlung der Lage der Druckwellen wurde vorausgesetzt, daß die Luftgeschwindigkeiten in den Druckstutzen der beiden Verdichter geometrisch addiert werden können. Die Versuche rechtfertigen diese Annahme.

[1]) Die ausführliche Abhandlung, die als Doktordissertation von der Technischen Hochschule Braunschweig genehmigt ist, kann in der Hochschulbücherei eingesehen werden.

Eingehende Untersuchungen auf dem Versuchstand der Deutschen Maschinenfabrik A.-G., Duisburg, an einem doppeltwirkenden Verdichter zeigen, daß in der Druckleitung zwischen Verdichter und Luftbehälter die Schwingungserscheinungen genau denselben Gesetzen folgen, wie es für einen mittleren Rohrleitungsdruck von 1 at abs von Wagenblast und Voissel bewiesen ist.

Häufig wird zum Vermeiden der Schleuderwirkung der Luftsäule ein Stoßwindkessel bei Verdichtern in unmittelbarer Nähe der Maschinen angeordnet. Beim Einbau ist größte Vorsicht am Platze; es kann sehr leicht der Fall eintreten, daß eine ohne Windkessel einwandfrei arbeitende Leitung durch diesen in das Resonanzgebiet gezogen wird.

Durch eingehende Versuche gelang es, ein Bild über die Verhältnisse bei Stoßwindkesseln zu bekommen. Hat ein Stoßwindkessel den Rauminhalt W in m³, die anschließende Druckleitung den Querschnitt F in m² und die Länge l in m, so ist die kritische Umlaufzahl der Maschine nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$n_{kr} = \frac{15\,a}{m\left(l + \frac{W}{F}\right)} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2).$$

Die Gleichung ist nur angenähert richtig; denn die Grenzfälle (z. B. für $l = 0$) können nicht der Wirklichkeit entsprechen. Für die praktisch vorkommenden Fälle ist die Gleichung gut brauchbar, wie sich aus den Versuchen ergibt; denn trotzdem der größte Versuchswindkessel etwa das zehnfache Volumen des Hubraumes des Verdichters aufwies und $\frac{W}{F}$ nahezu $^2/_3\,l$ ausmachte, ist die durch die Rechnung entstandene Abweichung ohne jede Bedeutung.

Ein sehr einfaches Bekämpfungsmittel der schädlichen Resonanzwirkungen ist die Drosselung, die die Schwingungswellen stark dämpft. Wie die Versuche zeigen, wird jedoch durch Einbau von Drosselstellen die Eigenschwingungszahl der Luftsäule und somit die kritische Umlaufzahl nicht verändert. Eine Bekämpfung der Resonanz durch Drosselung ist dann am wirksamsten, wenn sich zwischen der Maschine und Drosselstelle ein genügend großer Raum zum Druckausgleich befindet, damit durch das stoßweise Eintreten der Luft in die Leitung die Drosselverluste nicht größer werden als der Gewinn, der durch die Schwingungsdämpfung hervorgerufen ist.

Die bei Hochdruckkompressoren in den oberen Stufen allgemein üblichen Schlangenrohrzwischenkühler begünstigen die Schwingungserscheinungen der Luftsäule. In den anschließenden Stufen werden dann die Flächen der Kolbenwegdiagramme bedeutend vergrößert. Eine Theorie, die sich auf die Kolbenbewegung zu beiden Seiten des Kühlers gründet, gibt ein Bild über die Lage der Druck- und Geschwindigkeitswellen im Resonanzfall und über den Einfluß der anliegenden Stufen auf die Schwingungswirkung. Die kritische Drehzahl ist:

$$n_{kr} = \frac{30\,a}{m\,l} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3),$$

wobei l die Rohrlänge des Kühlers ist und die übrigen Bezeichnungen denen der Gl. (1) entsprechen. Zur Prüfung der aufgestellten Theorie diente ein Einzylinder-Zweistufenkompressor Type E V L 2 der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg. Der zu dieser Maschine gehörende Zwischenkühler ist durch einen Schlangenrohrkühler ersetzt worden. Die gefundenen Ergebnisse decken sich gut mit den rechnerisch ermittelten. Durch richtige Bemessung der Kühler können die Schwingungen leicht vermindert werden. [M 192]

Schwerin. Dipl.-Ing. Erich Welisek.

Die Entwicklung der Erdölfrage seit dem Jahre 1911.

Von Prof. H. O. Schlawe, vormals Generaldirektor der rumänischen Petroleumunternehmungen Disconto-Gesellschaft — S. Bleichröder, Berlin.

(Schluß von S. 434.)

Die Erdölgebiete der Welt.

Im nachfolgenden soll nun auch auf die übrigen Erdölgebiete der Welt eingegangen werden, und zwar vor allem unter dem Gesichtspunkte, welche Aussichten sich für die zukünftige Erdölversorgung eröffnen. In seinem Vortrage beurteilte Oebbeke, zum Teil auf Grund persönlicher Untersuchungen, die Aussichten in Rußland, Galizien und Rumänien als ganz besonders günstig und gab der Überzeugung Ausdruck, daß diese drei Länder die Bedürfnisse Europas an Erdöl vollkommen zu decken vermöchten, und daß deshalb Europa unter Umständen auf eine Versorgung durch Amerika zu verzichten in der Lage wäre. Galizien und Rumänien bezeichnete er als das natürliche Erdölreservoir Europas, insbesondere Deutschlands. Die Voraussagen Oebbekes haben sich nicht verwirklicht; zurückschauend liefern sie nur den Beweis, daß selbstfür vorsichtige, höchst sachkundige Forscher das Prophezeien in Erdölfragen eine recht unsichere Sache ist, namentlich wenn es sich um die Gewinnung handelt; so ist die galizische Rohölförderung, statt zuzunehmen, in unaufhörlichem Abnehmen begriffen; sie fiel von 1 400 000 t im Jahre 1911 auf 444 349 t im Jahre 1922. In Rumänien ist die Gewinnung wohl von 1 544 847 t 1911 auf 1 885 225 t 1913 gestiegen, um dann infolge des Krieges einen Rückgang zu erleiden, der trotz fünfjährigem Frieden noch bei weitem nicht wieder ausgeglichen ist, denn 1922 förderte Rumänien nur 1 368 929 t Erdöl. Auch in Rußland liegen die Verhältnisse nicht günstiger. Von der Höchstförderung von 11 032 629 t 1901 ging die Gewinnung bis zum Jahre 1913 auf 7 337 584 t zurück, und nach dem Kriege und der bolschewistischen Beschlagnahme ist die Förderung nur allmählich wieder auf eine Menge von 4 705 593 t 1922 gestiegen. Auch ohne die durch den Krieg erlittenen Rückschläge hätte die Ausfuhrfähigkeit der drei Länder den gestiegenen Bedarf Europas nicht decken können; hat doch England mit Schottland 1923 allein ungefähr 43 606 524 bbls Erdöl und Erdölerzeugnisse eingeführt.

Von besonderem Belang ist Persien im Laufe der Jahre geworden, einerseits wegen der verhältnismäßig schnellen Steigerung seiner Ausbeute, die aus politischen Gründen lange geheim gehalten wurde, dann weil die gegenwärtige Ausbeutung auf Grund einer besonderen Konzession ausschließlich in den Händen einer englischen Gesellschaft, der Anglo-Persian Oil Co. Ltd., liegt, und weil Großbritannien im Kriegsfalle vorläufig an erster Stelle auf das sichere persische Erdöl zählt. Der Anfang der Ausbeutung fällt in das Jahr 1912/13, für das eine Förderung von 200 000 t angegeben wird. Neuere Zahlen hat die Anglo-Persian erst im vergangenen Jahre veröffentlicht; sie stellen sich wie folgt:

1918/19	1 106 145 t
1919/20	1 385 301 „
1920/21	1 743 557 „
1921/22	2 327 221 „
1922/23	2 959 028 „

Für das Jahr 1923/24 wird eine Förderung von 3 775 000 t und für das folgende Jahr eine solche von erheblich über 4½ Millionen t erwartet, was durchaus nicht zu zuversichtlich erscheint. Verglichen mit der Riesenförderung der Ver. Staaten, das heißt 2 959 028 t = 19 530 000 bbls gegen 735 000 000 bbls, erscheint die persische Förderung, obgleich Persien an die vierte Stelle der erdölfördernden Länder getreten ist, recht unbedeutend; aber unter einem andern Gesichtspunkt ist sie es nicht, denn dank ihr und drei andern, allerdings kleineren Vorkommen ist England im Kriegsfalle von andern, nicht unter britischer Vorherrschaft stehenden Ölvorkommen ziemlich unabhängig und könnte sich, falls es dies aus irgendeinem Grunde wünschen sollte, auch im Frieden des Verbrauches von Erdöl enthalten, das nicht mit englischem Kapital gewonnen worden ist.

Die Bedeutungslosigkeit der deutschen Erdölvorkommen ist bekannt. Das Beste haben wir im Elsaß verloren; die hannoverschen Vorkommen sind in ihrer Ergiebigkeit zurückgegangen, und erst im letzten Jahre hat sich ihre Förderung dank den bereits besprochenen Schachtbauten der Deutschen Erdöl-A.-G. wieder gehoben; die Aussichten, ausbeutungswürdige Erdöllager in anderen Teilen Deutschlands zu finden, sind nach Ansicht aller Geologen äußerst gering.

Damit müssen wir uns aber abfinden und für das uns nun einmal Fehlende Ersatz aus andern Quellen suchen. Darüber wird das Notwendige im letzten Abschnitte zu sagen sein.

Daß nach dem Krieg in der ganzen Welt ein eifriges Suchen nach Erdöllagern eingesetzt hat, ist bekannt. Die großen Konzerne Anglo-Persian, Standard Oil-Gruppe, Koninklijke-Shell traten allerwärts in Wettbewerb um Gerechtsame und Schürferlaubnisse, in Europa wurden namentlich die Tschechoslowakei und die kleineren Staaten des Südostens stark umworben, und sie erteilten, manchmal unter schweren Bedingungen, Konzessionen. Das Ergebnis war ausnahmslos negativ, denn die gehegten Hoffnungen wurden enttäuscht. Die Standard Oil-Gruppe hat auf den mit der Tschechoslowakei bereits abgeschlossenen Vertrag verzichtet; die Anglo-Persian erklärt in ihrem letzten Jahresbericht, daß ihre Bohrungen in Ungarn, Kroatien, Serbien und Mazedonien vergeblich gewesen sind, und daß sie sich aus diesen Ländern zurückzieht, nachdem sie dort erhebliche Beträge verloren hat. Damit dürfte die Erdölgeschichte dieser Länder so ziemlich abschließen, nur in Albanien sind noch gewisse Aussichten vorhanden. Sonst haben sich in Europa noch England, Frankreich und Italien bemüht, auf Kosten ihrer Regierungen Erdöl im eigenen Lande zu finden, und im vergangenen Jahre sind von Privatgesellschaften auch in Spanien Bohrungen unternommen worden. Das Ergebnis war in den erstgenannten drei Ländern durchaus enttäuschend. In England hatte man bereits während des Krieges begonnen; fünf Bohrlöcher wurden niedergebracht, nur eines davon wurde fündig und gibt auch jetzt noch Öl, aber nur 1 t täglich; sämtliche fünf Bohrlöcher sind eingestellt und vier aufgegeben. Neuerliche Versuche in Schottland erscheinen wenig aussichtsreich. In Frankreich hat man in allen Richtungen geforscht und auch geschürft; über die geringste Ölspur ging jeweilig ein gewaltiges Gegacker in der französischen Presse los; aber nirgends wurde Erdöl auch in annähernd ausbeutungswürdiger Menge gefunden, und nur eine starke Erdgasquelle wurde bei einer der Bohrungen angeschlagen. Abgesehen von Pechelbronn im Elsaß, das jetzt dank der noch während des Krieges von der Deutschen Erdöl-Aktiengesellschaft behufs vermehrter Erdölgewinnung abgeteuften Schächte 70 000 t im Jahre liefert, gewinnt Frankreich kein Erdöl im Mutterlande. Auch die Bemühungen in den Kolonien sind fruchtlos geblieben. Algier und Tunis gewinnen seit längerer Zeit jährlich etwa 7000 t Erdöl; aber alle Bestrebungen, diese Ausbeute nach dem Kriege, selbst mit Hilfe fremder Gesellschaften, zu vermehren, waren vergeblich und dürften dies auch bleiben. Große Hoffnungen hatte Frankreich auf Madagaskar gesetzt. Die Regierung hatte im vergangenen Jahr eine Kommission von Geologen und Technikern entsandt, die bereits zurückgekehrt ist. Über ihren Bericht verlautet in der Presse, daß er enttäuscht habe. Große Lager bitumenreicher Sande seien gefunden worden, aber kein Erdöl. Italien hat eine alte einheimische, aber nur geringe Rohölgewinnung, die im Höchstfalle 10 000 t im Jahr ergeben hat. Auch in diesem Lande wird eifrig nach Erdöl geforscht und geschürft, und da man der bureaukratischen Verwaltung die langsamen Fortschritte zuschrieb, so hat Mussolini der Sache wohl einen neuen Anstoß gegeben, aber ohne daß man bisher wesentliche Fortschritte erzielt hätte. So wird es wohl noch einige Jahre dauern, bis endgültige Ergebnisse bekannt sein werden. Schon jetzt darf man aber sagen, daß die Aussichten, Erdöl in großen Mengen in Italien zu finden, nicht besonders günstig sind.

Es ist leicht verständlich, daß Frankreich und Italien unter den vorgeschilderten Verhältnissen um ihre Erdölversorgung in einem Kriege mit einem seemächtigen Feind ernstlich besorgt sind, wobei sich Frankreich in einer noch schwierigeren Lage als Italien befindet, denn nachdem dieses seinen Frieden und möglicherweise sogar ein Bündnis mit Jugoslavien geschlossen hat, kann es sich bei seinen stets besonders freundschaftlich gewesenen Beziehungen zu Rumänien im Kriegsfall aus diesem und vielleicht sogar aus Rußland versorgen; der Donauweg führt durch Jugoslawien, ebenso wie die Eisenbahnstrecke von Semlin bis zur italienischen Grenze. Anders ist die Lage für Frankreich; denn hört für dies die überseeische Versorgung auf, so müssen die Bezüge aus Galizien, Rumänien oder Rußland, sei es über Jugoslawien und Italien, oder über die Tschechoslowakei, Österreich, die Schweiz und unter Umständen sogar noch über Deutschland gehen. Zwar ist die Gründung einer französischen Donau-Dampfschiffahrt-Gesellschaft geplant, die in Regensburg eigene Tankanlagen schaffen

soll; aber Regensburg liegt bis jetzt noch nicht im französischen Machtgebiet. Deshalb sind die Sorgen Frankreichs wohl begründet und sind es im Kriegsfalle selbst dann, wenn Frankreich den von ihm beanspruchten Teil an der mesopotamischen Erdölausbeute erhält.

Mesopotamien ist bekanntermaßen eines der Gebiete, an das sich die größten Hoffnungen für die künftige Erdölversorgung der Welt knüpfen. Mesopotamien mit Mossul, das eigentlich nicht dazu gehört, und Palästina sind nun zwar ölhöffige Länder, weil sehr erhebliche äußere Anzeichen von Erdölvorkommen seit uralten Zeiten vorhanden sind, aber erbohrt worden ist Erdöl in Mesopotamien in größeren Mengen erst an einer Stelle in Mandali, in dem schmalen Streifen, der seinerzeit bei einer Grenzregulierung mit Persien an die Türkei abgetreten werden mußte. Dieses Bohrloch ist das erste ernst zu nehmende, das bisher überhaupt in Mesopotamien niedergebracht worden ist, und das von ihm angefahrene Öllager ist sicherlich eine Fortsetzung des benachbarten reichen persischen Vorkommens und beweist an und für sich noch nichts für das Gebiet bei Mossul. Somit bleibt bis heute Mesopotomien ein unbeschriebenes Blatt, und es ist nicht ausgeschlossen, daß man sich um nichts gestritten hat, als man auf den verschiedenen Konferenzen um Mossul kämpfte.

Noch ungünstiger als in Mesopotamien liegen die Verhältnisse in den fünf Provinzen des nördlichen Persiens. Das dortige Ölvorkommen wäre aus geologischen Gründen als mögliche Fortsetzung des südkaukasischen Ölgebietes anzusprechen, ohne daß jedoch, soweit bekannt, erhebliche äußere Anzeichen von Ölvorkommen wie in Mesopotamien vorhanden wären. Auf diese fünf Provinzen erstreckt sich die Konzession der Anglo-Persian Oil Co. nicht, und deshalb kämpfen um sie die großen Trusts. Anscheinend hat jetzt der amerikanische Sinclair-Konzern die Vorhand, aber wieviel Öl dort einmal gewonnen werden wird, ist heute noch gänzlich unbekannt. In Palästina hat die Standard Oil Co. of New Jersey ihre durch den Krieg unterbrochenen Bohrungen im letzten Jahre wieder aufnehmen dürfen, jedoch ist über irgendein Ergebnis noch nichts bekannt geworden, sofern man nicht eine Nachricht der „Times“ von Anfang Februar berücksichtigt, wonach die genannte Gesellschaft bei Ost-Hebron auf Öl gestoßen wäre. Die Förderung in Niederländisch-Indien, die mit einer einzigen unbedeutenden Ausnahme ganz in den Händen der Holländischen Koninklijken Gesellschaft (Royal Dutch) liegt und dadurch den Gefahren des Wettbohrens entgangen ist, hält sich beständig und ergibt gegenüber dem Jahre 1911 eine Zunahme von 27,2 vH. Die Förderung wird sich vielleicht durch die im vergangenen Jahre begonnene Ausbeutung des Djambiölgebietes auf Sumatra steigern, das von der holländischen Regierung trotz des Einspruches der Regierung der Ver. Staaten, die sich für die Standard Oil Co. of New Jersey einsetzte, an eine Tochtergesellschaft der Koninklijken vergeben worden ist. Die Arbeiten sind mit großer Energie begonnen worden, doch ist den neuesten Nachrichten zufolge das Ergebnis bisher nur gering, und es ist nicht ausgeschlossen, daß der Streit um Djambi „pro nihilo“ war.

Zu den Erdöl gewinnenden Gebieten der Sundainseln gehört auch das unter britischem Protektorat stehende Sultanat Sarawak auf Borneo. Die Förderung ist von 65 000 t in 1914 auf 403 393 t in 1922 gestiegen und dürfte weiter zunehmen. Die Ausbeutung liegt in den Händen einer Tochtergesellschaft des Royal Dutch-Shell Konzerns.

Auch in Britisch-Indien ist die Entwicklung verhältnismäßig beschränkt gewesen und dürfte es weiter bleiben; von 1911 bis 1922 stieg die Förderung nur von 6 451 203 bbls auf 7 700 000 bbls, d. h. um 19,4 vH, nachdem sie 1916 einen Höchststand von 8 491 137 bbls erreicht hatte. Auch für die Zukunft ist kaum auf eine wesentlich stärkere Zunahme zu rechnen. Japan ist in den letzten Jahren in seiner Förderung, die auch in den besten Jahren bei weitem nicht den Bedarf des Landes deckte, nach anfänglichem Steigen allmählich wieder zurückgegangen; 1912 belief sich die Gewinnung auf 1 671 405 bbls, 1922 auf 2 004 000 bbls, nachdem sie 1915 schon 3 118 464 bbls betragen hatte. Die Versuche japanischer Rohölunternehmungen, in Niederländisch-Indien und in Mexiko Fuß zu fassen, sind bisher gescheitert. Was die Erdölvorkommen im nördlichen Teile der Insel Sachalin betrifft, die seinerzeit zur Besetzung dieses Gebietes durch die Japaner geführt haben, so weiß man bisher sehr wenig über ihre mögliche Ergiebigkeit; die Lage im hohen Norden ist an und für sich der Erdölgewinnung wenig günstig. Daß es im weiten China eine große Anzahl, wenn auch lediglich wenig ergiebige und deshalb nur örtlich ausgebeutete kleinere Öllager gibt, ist seit langem bekannt, aber Näheres weiß man nicht, und deshalb ist über die Aussichten Chinas als Erdöl förderndes Land gegenwärtig nichts zu sagen. Reiche äußere Anzeichen von der Art der mesopotamischen scheinen nicht vorhanden zu sein.

Im dritten der alten Kontinente, in Afrika, sind bisher nur ganz geringe Mengen von Erdöl gefunden worden, und zwar in Ägypten, Algier und Tunis, welch letztere bereits erwähnt wurden. Die deutschen Schürfbohrungen in Kamerun sind von den Franzosen bisher nicht weiter geführt worden. Die Aussichten sind wenig günstig. Im Verlaufe des vergangenen Jahres hat die portugiesische Regierung Erdölgerechtsame für ein sehr großes Gebiet in Angola verliehen. Bisher war über dortige Erdölaussichten kaum etwas bekannt.

In Australien hat man trotz der von der Regierung des Commonwealth sowie der einzelnen Staaten für das erste angefahrene Erdöl ausgesetzten Prämien kaum eine Spur von diesem angetroffen, und die Anglo-Persian Oil Co. hat, was das Festland anbetrifft, jedes Bohren auf Erdöl als aussichtslos abgelehnt; die Schürfbohrungen, welche die Gesellschaft auf Neu-Guinea im Auftrage der britischen Regierung und der des Commonwealth vornimmt, blieben bis jetzt ergebnislos.

Das Vorstehende zusammenfassend, darf ich wohl aussprechen, daß in der östlichen Halbkugel bisher nur eine verhältnismäßig geringe Aussicht auf Aufrechterhaltung der Welt-Erdölversorgung besteht, falls die Förderung der Ver. Staaten und Mexikos wesentlich zurückgehen sollte. In der westlichen Halbkugel sind die Aussichten immerhin günstiger. Zwar haben die Hoffnungen, die man auf Kanada setzte, als 1920 bei Fort Norman am Mackenzie-Fluß nahe dem Polarkreis eine Spritzbohrung fündig wurde und man schon von einer Ölleitung zum Yukon-Fluß sprach, gründlich enttäuscht. Das Bohrloch gibt wohl 200 bis 300 bbls täglich, aber seine Vertiefung blieb erfolglos, und das gleiche gilt für andre Bohrungen in dem Gebiet. Trotz langjähriger, vielfacher und von der Regierung geförderter Bemühungen ist die kanadische Förderung seit Beginn des Jahrhunderts stark zurückgegangen und bleibt nur sehr bescheiden; sie belief sich auf 243 336 bbls 1912 und auf 179 000 bbls 1922, nachdem sie 1900 913 498 bbls betragen hatte.

Wie sich die Lage in Mexiko weiter entwickeln wird, ist schwer zu sagen, und die Ansichten darüber sind recht widerspruchsvoll. Tatsache ist, daß die südlichen in Ausbeutung befindlichen Ölfelder im Bezirke von Tuxpan der Erschöpfung entgegengehen, und daß der dadurch verursachte Ausfall bis jetzt noch zu einem großen Teile durch die neuere Mehrförderung der nördlichen Panucozone, der man zur Zeit der Riesenförderung der südlichen Felder mindere Wichtigkeit beigelegt hatte, gedeckt wird. Eine weitere Tatsache ist, daß von den 150 113 000 acres (1 acres = 0,405 ha) sicherlich ölhöffigen Ländereien Mexikos bisher nur 62 175 acres ausgebeutet worden sind. Es wäre sogar zu verwundern, wenn sich bei näherer Untersuchung nicht noch eine erheblich größere Fläche als die genannte als ölhöffig herausstellen würde. Weniger günstig ist es aber, wenn man erfährt, daß eine der größten mexikanischen Gesellschaften, die „Aguila Mexicana“ (dem Royal Dutch-Shell-Konzern angehörig und auch unter dem Namen „Mexican Eagle“ bekannt), die noch vor zwei Jahren Riesenerfolge in den südlichen Feldern erzielt hatte, sich seit Jahren vergeblich bemüht, auf ihr gehörigen großen Ländereien in anderen ölhöffigen Gebieten Bohrerfolge zu erzielen. Des weiteren ist anzunehmen, daß so reiche und leicht zu erbohrende Ölvorkommen, wie die in dem südlichen Felde bei Tuxpam, die nirgends in der Welt ihresgleichen hatten, nicht so bald wieder zur Entdeckung gelangen werden. Immerhin wäre es unrichtig, zu glauben, daß die mexikanische Erdölförderung ihrer Erschöpfung nahe ist; sie dürfte vielmehr noch auf lange Jahre hinaus einen wesentlichen Teil des Weltbedarfes an Heizöl decken; sollte aber die Förderung der Ver. Staaten erheblich unter ihren heutigen Stand fallen und dadurch die Deckung des Welterdölbedarfes gefährden, so wäre nach der gegenwärtigen Kenntnis der einschlägigen Verhältnisse nicht damit zu rechnen, daß Mexiko wie einst in die Bresche springen könnte, denn für die nächsten Jahre ist eher auf eine Verringerung als auf ein plötzliches Anwachsen der mexikanischen Förderung zu rechnen. Bezüglich Mexikos wäre vielleicht noch zu erwähnen, daß zu den dort mit Erfolg arbeitenden kleineren Gesellschaften der „Credito Petrolero“ gehört, der durch die Internationale Petroleum-Union in Zürich (Ipu) mit der Deutschen Erdöl-Aktiengesellschaft in Verbindung steht.

Über die Erdölvorkommen in Zentralamerika und auf den Antillen ist zur Zeit noch wenig zu sagen, reichere Vorkommen sind bisher nicht erschlossen worden.

Ganz anders ist die Lage in Südamerika und, was die Zukunft anbetrifft, namentlich an den nördlichen Küsten, in Kolumbien, Venezuela, Trinidad und selbst in Bolivien, während für die Gegenwart Peru und Argentinien schon in Betracht kommen. In Peru wird Erdöl bereits seit 1896 in größerem Betriebe gefördert, die Ausbeute belief sich 1911 auf 1 348 274 bbls und ist bis zum Jahre 1922 auf 5 314 000 bbls gestiegen. Anzeichen dafür, daß sie sich plötzlich und erheblich steigern würde, sind nicht vorhanden. Ein besonderes Interesse hat für uns Argentinien, weil dort, ebenso wie in Mexiko an der Gesellschaft „Credito Petrolero", ein deutsches Unternehmen, die „Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft", an der Gesellschaft „Astra", der größten unter den argentinischen privaten Erdölunternehmen, mittelbar beteiligt ist. Argentinien erscheint zum ersten Male 1908 mit 1820 t = ungefähr 12 000 bbls in der Rohölstatistik, 1911 war die Förderung auf 13 119 bbls gestiegen und 1922 auf 2 674 000 bbls, wovon 469 827 bbls auf die Gesellschaft Astra entfielen. Das hauptsächlich in Ausbeutung begriffene Feld von Comodoro Rivadavia an der atlantischen Küste ist in erfreulicher Entwicklung begriffen, während sich über die andern im Binnenlande gelegenen Vorkommen noch nichts Abschließendes sagen läßt.

Im Gegensatz zu Peru und Argentinien ist Venezuela, was die Ausbeutung im größeren Maßstabe betrifft, ein ganz neues Erdölland, auf das große Hoffnungen gesetzt werden und für dessen Ölvorkommen sich die drei großen Erdöl-Welttrusts gleichmäßig interessieren. Schon 1922 und noch im Anfangsstadium einer beginnenden Entwicklung wurden 334 923 t gewonnen, so daß Venezuela unter dem Gesichtspunkte der großen Erdölgewinnung als ein Zukunftsland anzusprechen ist. Weniger fortgeschritten sind die Verhältnisse in dem benachbarten Kolumbien, wo jedoch ebenfalls gute Möglichkeiten vorzuliegen scheinen, sowie in Bolivien, das ausgedehnte Gerechtsame für Erdölausbeutung an eine Gesellschaft der Standard Oil-Gruppe verliehen hat. Die Insel Trinidad ist schon seit längeren Jahren ein unausgesetzt zunehmendes Gewinnungsgebiet von Erdöl unter englischer Vorherrschaft. Im Jahre 1909 wurden 57 143 bbls, 1911 285 000 bbls und 1922 2 805 000 bbls gewonnen. Eine große Rolle unter den erdölfördernden Gebieten der Welt wird die Insel aber wohl niemals spielen.

Im Vorstehenden habe ich versucht, eine gedrängte Übersicht der Erdölgewinnungsmöglichkeiten der Welt, wie sie sich gegenwärtig darstellen, zu geben, wobei allerdings nicht außer Acht zu lassen ist, daß trotz aller Vorsicht das Prophezeien in Erdölangelegenheiten ein übles Ding ist, und daß es mir gehen kann, wie es Oebbeke geschehen ist. Immerhin sind Anfang 1924 die Grundlagen für die Beurteilung der weiteren Entwicklung der Ölgewinnung etwas sicherer als 1911, insofern nicht mehr so viel wie damals dem Zufall überlassen ist, die Erdölgeologie und die Bohrtechnik große Fortschritte gemacht haben und das wildcatting und das Umdiewettebohren in den ganz neu zu erschließenden Gebieten nicht mehr den Umfang haben kann wie in den Ver. Staaten und Mexiko. Alles in allem genommen scheint es wohl, daß die Ver. Staaten annähernd den Höhepunkt ihrer Erdölgewinnung erreicht haben, während der Verbrauch weiter und sogar stark zunehmen wird. Daß man dies in den Ver. Staaten wenigstens für das laufende Jahr befürchtet, erweisen die Preisbewegungen auf dem Rohölmarkt in der letzten Zeit. Vom 13. November 1923 bis 30. Januar 1924 ist der New Yorker Kurs der Creditbalances, d. h. der Preis für pennsylvanisches Rohöl, wie es aus den Ölleitungen der großen Rohölankauf- und Transport-Gesellschaften geliefert wird, von 2,60 \$/bl auf 4,50 \$/bl, also um fast 75 vH gestiegen, und die Kursbewegung der Creditbalances ist, abgesehen von besonderen örtlichen Verhältnissen, der Index für die Haltung des Rohölmarktes in dem Gesamtgebiet der Ver. Staaten. Ob dieser Zustand einer befürchteten Erdölknappheit im Laufe dieses Jahres andauern wird, ist natürlich sehr schwer vorauszusagen, zumal nach den Erfahrungen des letzten Jahres. Noch im August und September war der Markt mit Rohöl überschwemmt, und man gab sich alle Mühe, um die Bohrtätigkeit und die Gewinnung nach Möglichkeit einzuschränken und zu drosseln. Zweifellos werden die jetzigen Preiserhöhungen eine entgegengesetzte Wirkung auslösen, wann und in welchem Maße aber deren Wirkung in die Erscheinung treten wird, ist nicht leicht zu beurteilen. Jedenfalls haben die letzten neuen Bohrungen in Kalifornien Enttäuschung gebracht und die seinerzeit wegen der Überförderung geschlossenen Bohrlöcher haben nach Wiedereröffnung nicht mehr die frühere Ausbeute gegeben, ferner hat ein neuer im Beginn höchst ergiebiger Pool, das Powell-Feld in Texas, gänzlich unerwartet und überaus plötzlich versagt, so daß die letzte gemeldete tägliche Durchschnittsförderung der Vereinigten Staaten in der Woche endend mit dem 15. März 1924, 1 911 750 bbls betrug gegen die Höchstzahl des Jahres 1923 von 2 280 700 bbls, und diese Verminderung setzt sich andauernd fort. Und trotz alledem hält man in amerikanischen Erdölkreisen an der optimistischen Zuversicht fest, daß die Vereinigten Staaten die Rekordförderung des letzten Jahres noch 25 Jahre durchhalten können, weil man fest glaubt, es würden eben immer wieder entsprechende neue Felder entdeckt werden. Ich selbst wage es nicht, mich positiver auszudrücken, als ich es getan. Allerdings darf man sich über zwei, und zwar ebenfalls wichtige Punkte mit größerer Sicherheit aussprechen, nämlich über das, was geschehen würde, wenn die Förderung der Ver. Staaten plötzlich stark zurückginge oder in ihrer Ausbeute hinter den anwachsenden Bedürfnissen des Verbrauches zurückbliebe. Im ersteren Falle würde eine starke Verknappung der Erdölversorgung eintreten, denn auf eine baldige Deckung des Fehlbetrages aus erst neu zu erschließenden Feldern würde nicht zu rechnen sein, da es sich bei diesen um gänzlich rückständige Gebiete, ohne Verkehrswege mit teilweise sehr ungünstigen klimatischen und andern Verhältnissen handelt. Es hat an 20 Jahre gedauert, bis selbst bei den unter so manchen Gesichtspunkten günstigen Bedingungen Südpersiens eine jährliche Förderung von 2 000 000 t erreicht wurde, und dies trotz der äußerst energischen und von finanziellen Rücksichten unbeeinflußten Anstrengungen der Kriegsjahre. Es wäre ferner zu bemerken, daß Erschließungen großen Maßstabes in neuen Ländern nur vorgenommen werden können, wenn vorher eine ganz erhebliche Erhöhung der Preise, um vielleicht 50 bis 100 vH, eintritt; denn selbst die großen Trusts würden kaum geneigt sein, unter den jetzigen Preisverhältnissen die notwendigen großen Kapitalanlagen, die selbst bei höheren Preisen in den ersten Jahren nicht nur keine Gewinne, sondern sogar erhebliche Verluste bringen, zu machen, während das Kleinkapital der so vielen amerikanischen wildcatters, das jeweilig zum größten Teile zugunsten der Allgemeinheit verloren ging, für die Erschließung neuer größerer Gebiete in fremden Ländern kaum in Frage kommen kann. Sollte die Förderung in den Vereinigten Staaten sich auf der jetzigen Höhe halten, aber gegen den weiter zunehmenden Verbrauch namentlich von Benzin und Heizöl zurückbleiben, so würden einerseits die natürlichen Preiserhöhungen der Treibstoffe den Verbrauch drosseln, während man sich anderseits bemühen würde, Ersatz zu schaffen; für das Heizöl in der Rückkehr zur Kohlenfeuerung und für das Benzin durch Beschreitung der Wege, die in dem folgenden und letzten Abschnitt dieses Aufsatzes zu besprechen sein werden

Die Möglichkeit des Ersatzes einzelner Erdölerzeugnisse durch solche andern Ursprunges.

Es ist leicht begreiflich, daß bei der hohen Bedeutung der Erdölerzeugnisse für Friedenswirtschaft und Kriegführung alle Staaten, namentlich aber die Großmächte, bemüht sind, sich solche zu sichern und, wo dies unmöglich sein sollte, weil der eigene Boden kein Erdöl liefert und im Kriegsfalle die Zufuhr nicht genügend oder garnicht gesichert erscheint, sie durch Erzeugnisse zu ersetzen, die aus heimischen Rohstoffen gewonnen werden können. Mehrfach hat man bei diesen Bemühungen auch das Ziel einer besseren Verwertung solcher Rohstoffe im Auge gehabt. Sogar in den Ver. Staaten ist man dieser Frage näher getreten, als man begann, an eine mögliche und nicht allzu ferne Erschöpfung der Ölfelder zu denken. In Europa zeigten sich besonders eifrig beim Suchen nach Ersatzstoffen Frankreich, Italien und selbst England. Am meisten geleistet auf diesem Gebiete hat zweifellos Deutschland, das sich schon während des Krieges Erdölersatz schaffen mußte, und die damals gefundenen Lösungen aus wirtschaftlichen Gründen im Frieden energisch weiter verfolgt hat. In den Vereinigten Staaten dachte man vor allem an eine spätere Ausnützung der gewaltigen und zum Teil sehr ergiebigen Ölschieferlager, die zum Gegenstand eifriger wissenschaftlicher und praktischer Forschung gemacht wurden. Das Ergebnis war insofern günstig, als es sich ergab, daß die Ölschieferlager wohl imstande wären, bei vollständiger Ausbeutung eine dem amerikanischen Bedarf entsprechende Ausbeute an Öl zu liefern; aber um dies Ziel zu erreichen, müßte erst ein Kapital aufgebracht werden, das in seiner Höhe ungefähr dem Riesenkapital entspricht, das im Kohlenbergbau der Vereinigten Staaten angelegt ist.

Die gewaltigen Kosten eines auf diese Weise gewonnenen Öles kann man sich leicht vorstellen. Die wenigen gegenwärtig, und zwar unter besonders günstigen örtlichen Verhältnissen arbeitenden Ölschieferdestillationen, die sich übrigens auf die Herstellung von gewissen Sonderölen beschränken, weisen keine hohen Gewinne auf. Hier darf wohl gleich im Zusammenhang erwähnt werden, daß die alte schottische Ölschieferindustrie, die

noch während des Krieges nicht unerhebliche Mengen Öl geliefert hatte, ihre Betriebe infolge mangelhafter Ertragfähigkeit teils eingestellt, teils umgestellt hat, und zwar auf die Destillation von Erdöl, das von der Anglo-Persian Oil Co. eingeführt wird. Nicht viel besser als in Schottland ist die Lage der Ölschieferindustrie in andern Ländern; meistens hat sie die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht erfüllt, sei es wegen des geringen Ölgehaltes, sei es wegen großen Schwefelgehaltes des Rohstoffes, weil gewisse unangenehme Eigenschaften der aus Schieferöl hergestellten Erzeugnisse auch durch verbesserte Verarbeitungsverfahren bisher noch nicht voll beseitigt werden konnten, schließlich aber, und dies in der Hauptsache, weil sie dem Wettbewerb der Erdölerzeugnisse nicht widerstehen kann. Auch in Deutschland haben sich die Aussichten, welche die württembergischen und braunschweigischen Posidonien- oder Liasschieferlager zu eröffnen schienen, bis jetzt noch nicht verwirklicht. Ihr Bitumengehalt ist teilweise geringer als der der schottischen Ölschiefer. Von den Fortschritten der Betriebe verlautet nur wenig. Hingegen wird die 1885 begonnene Ausbeutung des allerdings nur kleinen Lagers von bituminösem Schiefer bei Messel in Hessen mit Erfolg weitergeführt. Zu erwähnen wäre an dieser Stelle wohl noch das Lager von Ölkreide bei Heide in Holstein, dessen Abbau durch den Konzern der Deutschen Petroleum-A.-G. begonnen worden ist.

Erhebliche Fortschritte hat seit Kriegsende die Ausbeutung der sehr großen Lager von Ölschiefer in Estland gemacht; dieser Schiefer wird allerdings zum größten Teil ohne weitere Verarbeitung als Heizstoff für die Industrie usw. benutzt, während die Verarbeitung auf Teer noch rückständig ist. Die in Schweden während des Krieges begonnene Destillation von dortigen Alaunschiefern ist infolge unbefriedigender wirtschaftlicher Ergebnisse in der Nachkriegszeit wieder eingestellt worden.

Auch Frankreich verfügt über Ölschieferlager, aus denen nach einem Vortrage Dr. Alfred Fabers in der Brennkrafttechnischen Gesellschaft bei einem jährlichen Abbau von 150 000 t 10 500 t Öl gewonnen werden. Bei der Mächtigkeit der französischen Lager, die mit 50 Millionen t angegeben wird, will man in der Zukunft die Gewinnung erheblich steigern, dem soll aber nach der genannten Quelle entgegenstehen, daß die Industrie bisher nur durch große staatliche Zuschüsse und Sondervorteile verschiedenster Art am Leben erhalten wird. Ähnlich, wenn nicht noch ungünstiger, liegen die Verhältnisse in zahlreichen anderen Ländern, die über Ölschieferlager verfügen. Unter diesen Umständen ist auf einen dereinstigen Ersatz der Erdölerzeugnisse durch solche aus Schieferöl kaum zu rechnen.

Wesentlich aussichtsreicher als die Ausnutzung des Ölschiefers ist die des Bitumengehaltes der Braunkohle und der Steinkohle, für die bereits mehrjährige Erfahrungen auch in bezug auf Großverarbeitung vorliegen, vor allem in Deutschland, wo diese Industrie sich in fortschreitender kräftiger Entwicklung befindet und große Ergebnisse zeitigen kann, wenn sie durch die deutschen Verbraucher, und zwar in deren eigenstem Interesse, sowie durch entsprechende Regierungsmaßnahmen gefördert wird. Dann, aber auch nur dann, lassen die bisherigen Erfahrungen und Ergebnisse den Schluß zu, daß die deutsche Braun- und Steinkohlenindustrie in allmählichem Fortschreiten bei weiterer Entwicklung in der Lage sein würde, Deutschland nicht nur mit aus heimischen Rohstoffen hergestelltem Treib- und Heizöl, sondern auch mit Schmierölen für gewisse Zwecke und, abgesehen von Benzol als Ersatz für Benzin, worüber als allgemein bekannt nichts mehr zu sagen ist, sogar mit aus Braunkohlen hergestellten, wenn auch nicht allzugroßen Benzinmengen zu versorgen. Welche Bedeutung eine derartige, allerdings mit vollkommenster Nüchternheit zu prüfende Entwicklung für die allgemeine Wirtschaft unseres Vaterlandes haben würde, liegt auf der Hand, daneben würde sie die Industrie in erheblichem Maße von den erwähnten großen plötzlichen Schwankungen des amerikanischen Erdölmarktes unabhängig machen. Es ist bemerkenswert, daß gerade die deutsche Industrie die größten und bedeutendsten Fortschritte in der Herstellung von Teer aus mineralischen Rohstoffen und seiner Weiterverarbeitung gemacht hat, obgleich Deutschland nicht unerheblich später als andere Länder in diese Industrie eingetreten ist, wie z. B. Frankreich, Schottland, England und die Vereinigten Staaten. Erst in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat die Entwicklung der Braunkohlenschwelindustrie und die Weiterverarbeitung des Teers auf Photogen, Solaröl, Gasöl, Paraffin in Mitteldeutschland, vor allem in der Provinz Sachsen, begonnen. Der Teer wurde in Retorten und Schwelöfen gewonnen. Erst während des Krieges, 1916, als es sich darum handelte, möglichst große Mengen von Treib- und Heizöl für die Marine herzustellen, ging die Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft dazu über, 3 große Generatorenanlagen mit im ganzen 55 Generatoren, davon zwei bei Rositz in Altenburg und die dritte bei Regis (Sachsen), und daneben eine entsprechende Teerdestillations- und Raffinerieanlage zu erbauen, die noch während des Krieges nicht unerhebliche Mengen Heizöl an die Marine geliefert haben. Nach dem Kriege wurden die Anlagen vergrößert und auf Grund der gewonnenen Erfahrungen mit Neuanlagen zwecks Verfeinerung der Erzeugnisse vervollständigt. So wurde eine Edeleanu-Anlage geschaffen, um tiefstockende Maschinenöle zu gewinnen; eine neue Anlage zur Entfernung von Kreosoten aus Braunkohlenteerölen arbeitet mit gutem Erfolge, den Generatorgasen wird durch Ölwäsche das darin enthaltene Benzin entzogen. Vergaste die Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft in den Generatoren Braunkohlenbriketts, um dadurch den Durchsatz und die Teerausbeute zu steigern, so versuchte die von den Rütgerswerken A.-G. gegründete Kursächsische Braunkohlen-Gas- und -Kraft-G. m. b. H. in ihrer im Geiseltale errichteten Anlage von 42 Generatoren, die Rohkohle unmittelbar durch die Generatoren durchzusetzen, was ja an und für sich das natürliche wäre, bisher aber noch nicht in wirtschaftlicher Weise gelungen ist. Immerhin wird in dieser Richtung weiter gearbeitet und es ist im Interesse der Braunkohlenteerölindustrie wohl zu hoffen, daß eine entsprechende Lösung gefunden werden wird. Die Riebeckschen Montanwerke A.-G. hielten im Geiste ihres so ausgezeichneten Begründers, Carl Adolf Riebeck, am Schwelofen fest, der, wenn er auch vorzüglichen Teer liefert, niemals für eine Massenerzeugung geeignet sein dürfte, wie wir sie nötig haben werden, wenn der heimische Bedarf an Teerölen, Neben- und Untererzeugnissen die wünschenswerte Höhe erreicht haben wird. Da aber im Generator auch bitumenärmere Braunkohlen als im Schwelofen wirtschaftlich verarbeitet werden können, so sind je nach dem Bedarf weitere Entwicklungsmöglichkeiten vorhanden, da diese nur von den Braunkohlenvorräten, die Deutschland in genügendem Ausmaße besitzt, und dem notwendigen Kapital abhängen.

Die Entwicklung der Steinkohlen-Teerindustrie im Großbetrieb ist älter als die der Braunkohlen-Großindustrie und ist allgemein bekannter als diese. Deshalb ist es unnötig, Näheres über ihre Entwicklung zu sagen; von Belang ist es aber, daß im vergangenen Jahre die Zeche Graf Bismarck, deren Kohlen sich hervorragend zur Teergewinnung eignen, dem Konzern der Deutschen Erdöl-Aktiengesellschaft angegliedert worden ist. Damit wurde eine Brücke von der Gewinnung des Braunkohlenteeres zu der des Steinkohlenteeres geschlagen, die nicht verfehlen wird, sich vorteilhaft für beide Zweige der Teerindustrie auszuwirken.

Bei der Bedeutung, welche die heimische Ölgewinnung schon hat und für die Zukunft noch mehr haben könnte, ist es merkwürdig, daß von der Motorenindustrie auf den Abbau des nicht einmal bedeutenden Schutzzolles hingewirkt wird, den die deutsche Ölindustrie genießt. Diesen Bestrebungen haben sich auch die wenigen deutschen Industriezweige angeschlossen, die Keramik z. B., die in einzelnen Betrieben Heizöl verbrauchen. Daß Heizöl unter den Verhältnissen Deutschlands, abgesehen von der Seeschiffahrt, die sich aber sogar in den deutschen Häfen mit zollfreiem ausländischem Heizöl versorgen kann, noch auf Jahre hinaus die Kohle in irgendwie größerem Ausmaße nicht zu verdrängen vermag, habe ich bereits nachgewiesen. Anderseits nutzten die in Deutschland im Betriebe befindlichen Dieselmotoren die Leistungsfähigkeit der deutschen Ölindustrie nicht voll aus, obgleich das Paraffinöl und das Rositzer Treiböl auch den schärfsten Bedingungen entsprechen. Zeitweilig mußte z. B. die Herstellung von Rositzer Ölen wegen mangelnden Absatzes sogar eingeschränkt werden. In ihrem eigensten Interesse sollte die deutsche Motorenindustrie im Zusammenarbeiten mit der deutschen Ölindustrie dahinstreben, sich vom Bezug ausländischen Treiböles unabhängig zu machen und sich an erster Stelle auf den Verbrauch heimischen Öles einzustellen. Daß die deutsche Ölindustrie die Versorgung übernehmen könnte, möge daraus erkannt werden, daß die Rositzer Anlagen der Deutschen Erdöl-Aktiengesellschaft allein schon eine jährliche Leistungsfähigkeit von 60 000 t Teer haben, aus dem 30 000 t Heizöl und 10 000 t Treiböl hergestellt werden könnten. Rechnet man hierzu die Treibölgewinnung aus dem übrigen Mitteldeutschland und aus Messel mit ungefähr 44 000 t, so ergibt sich, daß die Braunkohlenteerölindustrie schon jetzt 54 000 t Treiböl im Jahre liefern könnte, wogegen die Gesamteinfuhr von Gasöl (Treiböl, Dieselöl) in Deutschland 1922 54 325 t und in den ersten 9 Monaten des Jahres 1923 64 854 t betrug, während Rositz z. B. seine Leistungsfähigkeit nur ungefähr zur Hälfte ausnützen konnte. Ein voller Ersatz für die eingeführten Mengen würde sich allmählich ohne Schwierigkeit durch die volle Ausnutzung der gegenwärtigen Anlagen und ihre entsprechende Vergrößerung erhalten lassen.

Im vorstehenden ist die Heiz- und Treibölgewinnung der Steinkohlenteer-Destillation, die die vorgenannten Zahlen erheblich übersteigt, überhaupt noch nicht berücksichtigt. Was diese sowie auch die Benzolgewinnung zum Ersatz von Benzin betrifft, so läßt sich nach über einjähriger Besetzung des Ruhrgebietes und bei der Unsicherheit der nächsten Zukunft des dortigen Steinkohlenbergbaues und der Kokereiindustrie vorläufig nichts sagen, jedenfalls war die Steinkohlen-Teerölgewinnung schon 1921 so bedeutend, daß sie zusammen mit den Ersatzstoffen aus Braunkohlenteer den deutschen Verbrauch an Heiz- und Treibölen wohl hätte decken können, wenn es der deutschen Ölindustrie ermöglicht würde, ihre gegenwärtigen Gewinnungsmöglichkeiten voll auszunützen. Dies kann nach Wiederkehr normaler Verhältnisse an der Ruhr geschehen, jedoch nur gestützt auf einen genügenden Zollschutz. Daß ein solcher der deutschen Industrie keine zu großen Opfer auferlegen würde, ergibt sich, ganz abgesehen von dem großen Vorteil der zu erlangenden Unabhängigkeit vom Ausland und von den großen Preisschwankungen auf dem Erdölmarkte, schon daraus, daß sich Heizöl vom März bis Dezember 1923, in London ausgeliefert aus der Leitung im Hafen, auf 4 £ 4 sh je long ton von 1016 kg und das Rositzer Heizöl umgerechnet auf 4 £ 15 sh fob Raffinerie stellte. Im Jahre 1922 war sogar zeitweise das Rositzer Heizöl nicht unerheblich billiger, als dies dem Londoner Preis entsprochen hätte.

Es ist vielleicht nicht belanglos, bei dieser Gelegenheit zu erwähnen, welche Erzeugnisse die deutsche Braunkohlenölindustrie der deutschen Wirtschaft überhaupt liefert. Zu diesen gehören, abgesehen von Heiz- und Treiböl, Schmieröle und technische Fette für viele Verwendungszwecke, sogar Spezialöle für die elektrotechnische, die Automobil- und die Textilindustrie, Ammoniumsulfat als Düngemittel für die deutsche Landwirtschaft, Montanwachs und Paraffin. Das an letzter Stelle genannte Erzeugnis, von dem im Abschnitt über Erzeugnisse gesagt wurde, daß es auf dem Weltmarkte knapp zu werden beginnt, während sein Verbrauch auch in Deutschland steigt, verdient deshalb einige Aufmerksamkeit und einige zahlenmäßige Angaben. Die deutsche Paraffingewinnung des Jahres 1923 belief sich schätzungsweise auf 8650 t, wovon allein 5772 t auf die Rositzer Anlagen entfielen (für das Jahr 1922 betrugen diese Zahlen 9950 t bzw. 6633 t), dahingegen wurden 1922 in Deutschland eingeführt 12 913 t und in den ersten 9 Monaten 1923 12 066 t. Bei einem Durchschnittspreise von etwa 7,5 $ je 100 kg unverzollt cif Hamburg wurde somit in dem Vorjahre durch die Rositzer Paraffingewinnung allein dem Deutschen Reich eine Devisenausfuhr von 432 900 $ erspart! Würde die Paraffinherstellung weiter vermehrt, so könnte die Einfuhr entsprechend vermindert werden. Aber die Menge des erzeugten Paraffins hängt von der hergestellten Teermenge ab und diese wieder vom Verbrauche von Heiz- und Treiböl. Ich habe bereits erwähnt, daß die Verarbeitungsfähigkeit der Braunkohlenteer herstellenden Anlagen bisher infolge mangelnden Absatzes bei weitem nicht voll ausgenutzt wird. Somit hängt es letzter Dinge von der deutschen Heiz- und Treiböl verbrauchenden Industrie ab, ob in Deutschland mehr Paraffin hergestellt werden kann.

In den meisten andern Ländern ist man dem von Deutschland gegebenen Beispiel der Gewinnung von Erdölersatzstoffen aus Stein- und Braunkohle gefolgt; allerdings bisher mit recht wenig Erfolg. In E n g l a n d arbeitet man schon seit den Kriegsjahren an der sogenannten „low temperature carbonisation", wobei allerdings der Ausgangspunkt nicht die Gewinnung von Urteer und dessen Verarbeitung zu Untererzeugnissen, sondern die Gewinnung von rauchlos verbrennenden, weichen Koks war, während der gewonnene Teer als Nebenerzeugnis angesehen wurde, ebenso wie der aus Kokereien und Gasanstalten. Auch die Herstellung von Benzol scheint noch zu wünschen übrig zu lassen, wie daraus zu schließen sein dürfte, daß sich die zum Vertrieb von Benzol als Treibstoff gegründete englische National Benzole Co. gezwungen gesehen hat, ein Abkommen mit der Agwi Petroleum Corporation zu treffen, wonach die letztgenannte sich verpflichtete, eine Mischung von zur Hälfte Benzol und zur Hälfte Benzin zu vertreiben, das in England aus eingeführtem Rohöl hergestellt ist. Zeitungsmeldungen aus allerletzter Zeit zufolge scheinen sich jedoch Schwierigkeiten ergeben zu haben, denn man konnte lesen, die National Benzole Co. habe Abschlüsse auf Benzin getätigt, um solches an Stelle von Benzol zu liefern, da sie keine genugenden Mengen von diesem in wirtschaftlicher Weise zu beschaffen vermöge.

Die gesamte Frage der Erdölersatzstoffe hat ein ganz wesentlich größeres Interesse für F r a n k r e i c h, das im Fall eines Krieges mit einer starken Seemacht von allen seinen Erdölzufuhren abgeschnitten werden könnte. Deshalb hat man wohl auch in keinem Land in der politischen Presse so viel über Erdöl geschrieben, wie in Frankreich, wobei das tatsächlich Erreichte, abgesehen von dem Eingriff in das Ruhrgebiet, der nach Äußerungen des „Courrier des Pétroles" auch auf Benzolerfassung zielte, hinter der aufgewendeten Druckerschwärze erheblich zurücksteht. Über die Aussichten der Gewinnung von Erdölersatzstoffen aus französischen Ölschiefern habe ich bereits gesprochen. Neben diesen hat man auch die Verarbeitung der Braunkohle (Lignit) und der Steinkohle ins Auge gefaßt. Näheres darüber wurde von Dr. Alfred Faber in dem bereits erwähnten Vortrage mitgeteilt. Den im Vortrag enthaltenen Angaben zufolge fiel die 1918 auf 21 500 t jährlich gesteigerte Benzolgewinnung bis zum Jahre 1921 auf 7600 t. Für das Jahr 1922 hoffte man auf 10 000 t, während der jährliche Benzolbedarf 90 000 t betragen soll. Im günstigsten Falle, nach Umbauten von Generatorenanlagen, Gasanstalten, Vermehrung von Kokereien errechnet Dr. Faber eine jährliche Höchstgewinnung von 80 000 t Leichtöl und 162 000 t Schweröl, ist aber der Ansicht, daß der technische Aufwand, wie die notwendigen hohen Kapitalanlagen in Anbetracht der kleinen durch die Kokereien zu gewinnenden Betriebstoffmengen ein Unsinn sind, da auch unter den günstigsten Umständen ein dauernd wirtschaftliches Arbeiten nicht mit Sicherheit gewährleistet ist.

Ähnlich steht es in Frankreich mit der Braunkohlenverarbeitung, bei der es sich in der Hauptsache um die bisher ziemlich in der Luft schwebende Hoffnung handelt, aus einer jährlichen Braunkohlenförderung von 1 000 000 t 100 000 t Teer, woraus 50 000 t Leichtöl und 20 000 t Schweröl gewonnen werden könnten, herzustellen. Bis jetzt wird allerdings in Frankreich überhaupt noch kein Teer aus Braunkohle gewonnen. Über andere Länder ist hinsichtlich der Gewinnung von Erdölersatzstoffen nichts Wesentliches zu sagen.

Anders steht es mit der Verwendung von Alkohol an Stelle von Benzin. In dieser Hinsicht hat man in den verschiedensten Ländern der Welt Anregungen gegeben und auch Anwendungen versucht. Zweifellos kann Alkohol bei dazu passenden Vergasern für den Kraftwagen verwendet werden, doch ist diese Verwendung nicht wirtschaftlich. Zum Ersatz in weitem Umfange würden aber die verfügbaren Alkoholmengen nicht genügen, und deshalb dachte man in einzelnen Ländern, in denen man Veranlassung hatte, dieser Frage ernstlich näher zu treten, an die Ausnutzung anders nicht verwertbarer, aber reicher tropischer Pflanzenvorkommen zur Herstellung billigen Alkohols, wie z. B. in Südafrika; jedoch ist es bisher bei Erörterungen geblieben. Die Herstellung von Gemischen hat man vielfach versucht, wir hatten den Reichskraftstoff, Frankreich sein „Carburant National", Italien versuchte das gleiche. Die Ergebnisse enttäuschten überall. In Frankreich sah man sich gleichzeitig veranlaßt, um aus Gründen der inneren Politik einen Ausgleich zwischen den Treberalkoholerzeugern des Südens und den Melassealkoholerzeugern des Nordens herzustellen, den industriellen Alkoholverbrauch dadurch zu vermehren, daß gesetzlich vorgeschrieben wurde, dem für Kraftfahrzwecke eingeführten Benzin 10 vH Alkohol zuzusetzen. Das Ergebnis war unbefriedigend, denn nur, wenn fast wasserfreier Alkohol verwendet wird, ist der Entmischung von Benzin und Alkohol und ihren schädlichen Folgen vollkommen vorgebeugt, und da man aus wirtschaftlichen Gründen reinen Alkohol nicht verwenden kann, ließ die Mischung vom Standpunkte des Kraftfahrwesens sehr viel zu wünschen übrig. Anderseits besteht aber auch die begründete Befürchtung, daß die französische Spritherstellung die notwendige Alkoholmenge überhaupt nicht liefern können wird.

Zusammenfassend darf über die E r s a t z m ö g l i c h k e i t e n f ü r E r d ö l e r z e u g n i s s e wohl folgendes gesagt werden: Träte eine merkliche Verminderung der Erdölgewinnung der Welt ein, die von einzelnen ja schon in der nächsten Zukunft befürchtet wird, so wäre Ersatz für fehlende Erdölmengen aus anderen Quellen weder binnen kurzer Zeit, noch in ausreichenden Mengen zu beschaffen, so daß die Weltwirtschaft vor verhängnisvollen Schwierigkeiten stehen würde. Von den Ländern der Welt, die keine ihren Bedürfnissen entsprechende eigene Erdölförderung haben, wäre Deutschland noch in verhältnismäßig günstiger Lage, weil seine Einfuhr an Erdölerzeugnissen jeglicher Natur seit der Vorkriegszeit von 1 301 731 t im Jahre 1913 auf 767 146 t im Jahre 1922 zurückgegangen und weil es in der Herstellung von Erdölersatzstoffen mehr als irgend ein anderes Land der Welt fortgeschritten ist. O h n e ü b e r o p t i m i s t i s c h z u s e i n, d a r f m a n w o h l s a g e n, d a ß e s i n d e r M a c h t D e u t s c h l a n d s l i e g t, a b g e s e h e n v o n e i n z e l n e n S o n d e r e r z e u g n i s s e n, s i c h f ü r s e i n e F r i e d e n s w i r t s c h a f t v o m a u s l ä n d i s c h e n E r d ö l u n a b h ä n g i g z u m a c h e n. [A 170]

Neuere Heißdampf- und Hochdruckschieber.

In einer Zeit, da unsere Wärmetechnik durch Steigerung der Dampfspannungen in Kraft- und Heizanlagen eine wesentliche Hebung des Wirkungsgrades zu erreichen hofft, ist es kein Wunder, daß überall, im Kessel- und Maschinenbau, bei Rohrleitungen und Armaturen die neue Richtung einen lebhaften Anreiz zu Neukonstruktionen weckt. Daher entspricht der im Sommer 1923 abgeschlossene Bericht in Z. Bd. 68 (1924) S. 95 nicht mehr ganz dem heutigen Stande. Ein kurzer Nachtrag soll deshalb den Aufsatz ergänzen.

Die Herstellerin des Schiebers nach Abb. 2 hat sich der üblichen Parallelbauart zugewandt und führt jetzt Schieber nach Abb. 23 aus. Die mit zylindrischen Hälsen ineinandergeschobenen Scheiben *a* und *b* werden in der Schlußstellung durch eine keilförmige Verdickung *c* der Spindel *d* nach außen gepreßt; um die Bearbeitung zu erleichtern und ein Festbrennen zu verhüten, hat man in die Scheiben *a* und *b* zwei zylindrische Stopfen *e* und *f* aus nicht rostbarem Stahl eingelassen. Beim Öffnen werden die Platten durch zwei auf die Spindel *d* gesteckte und durch eine Feder *g* zusammengedrückte Kloben *h* und *i* mit schrägen Innenflächen von den Sitzringen *k* und *l* abgehoben, so daß sie auch beim Niederschrauben nicht darauf schleifen. Damit nicht Unbearbeiteter Stahlguß genügt hier oft nicht. die Bearbeitung an tieferen Stellen des Gehäusesackes hat jedoch ihre Schwierigkeiten. Hierüber kommt der Schieber nach Abb. 24 hinweg, dessen Gehäuse aus zwei Seitenteilen *a* und *b* mit Anschlußflanschen und einem flachen Mittelstück *c* besteht, das durch einen Kranz von Schrauben dazwischengeklemmt wird. An den beiden genau gleichen Teilen *a* und *b* können die Sitzringe *d* und *e* gut eingehämmert und bearbeitet werden; in gleicher Ebene mit ihnen befinden sich Führungsflächen *f* und *g*, auf die der Körper *h* beim Hochschrauben der Spindel *i* übertritt. Da das Stück *c* einen offenen, leicht bearbeitbaren Rahmen bildet, ergibt sich auch eine gute Seitenführung für *h*. Das Mittelstück *c* trägt einen (nicht gezeichneten) Säulenaufsatz für die Spindelmutter; dieser ist so schmal, daß man die Stopfbüchschrauben nicht in der üblichen Weise anordnen kann, sondern die Muttern für die Stopfbüchse auf einem in die Säulen eingeschnittenen Gewinde laufen lassen muß. Eine Schwäche des Schiebers liegt darin, daß man die Platten nicht drehen kann (vgl. auch Abb. 3, S. 96); der ungleiche Verschleiß der Dichtungsringe (Abb. 7, S. 97) wird häufiges Nachschleifen oder Nachdrehen erfordern.

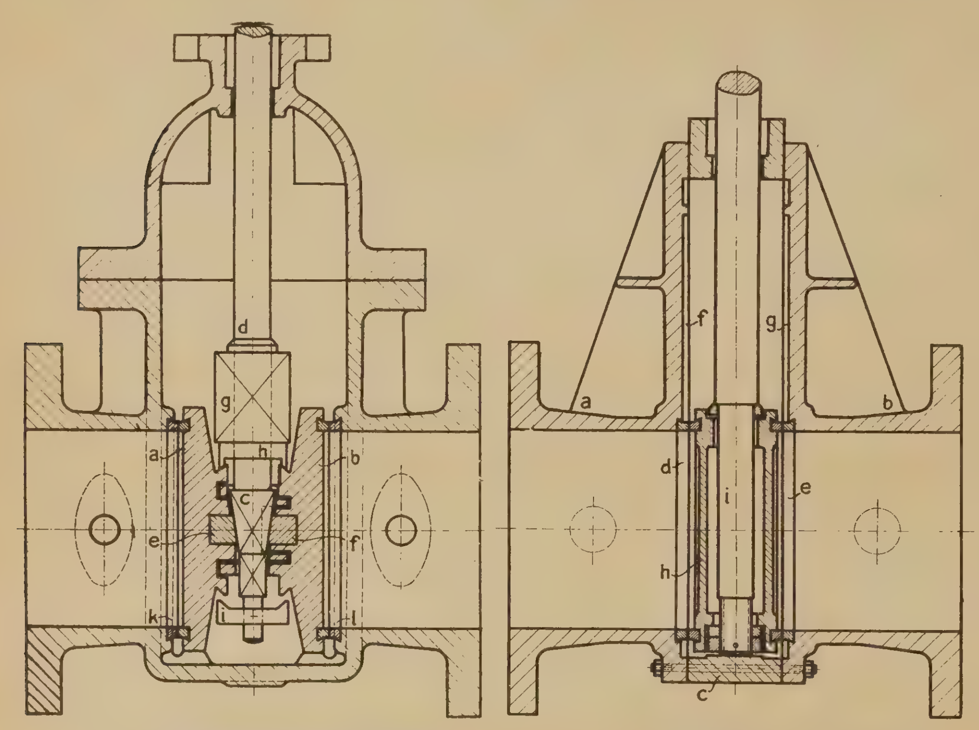


Abb. 23. Parallelschieber mit Keilanpressung.

Abb. 24. Parallelschieber mit dreiseitigem Gehäuse.

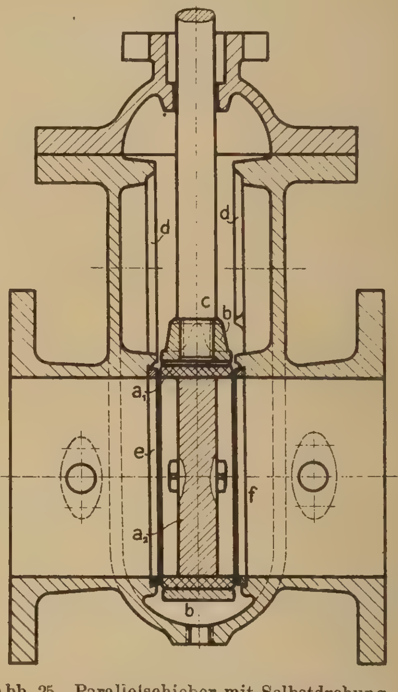


Abb. 25. Parallelschieber mit Selbstdrehung (Längsschnitt).

durch einseitigen Überdruck der gesamte Schieberkörper dennoch belastet wird und auf den Sitzen gleitet, muß man mittels eines Umgangventils die anschließende Rohrleitung vorfüllen, wie es bei jedem Parallelschieber Vorschrift ist. Die im Heißdampf angebrachte Feder ist ein wunder Punkt der Bauart; sie ließe sich zwar durch eine geeignete Kurve ersetzen, was aber die schon nicht geringe Zahl der Einzelteile vermehren würde.

Der Parallelschieber mit Spreizgewinde, S. 98, Abb. 12 und 13, hat eine beachtenswerte Verbesserung dadurch erfahren, daß zwischen die Schieberplatten eine besondere Druckspindel mit Rechts- und Linksgewinde eingefügt ist, die man, ebenso wie die zugehörigen Muttern, aus einer sehr harten Nickellegierung anfertigt. Auch ist durch eigenartige Ausbildung der von der Spindel betätigten Hebel am Gewindestück gesorgt, daß der Schieberkörper sich erst nach Trennung der Dichtungs- von den Sitzringen hebt. Die Beurteilung im Absatz 1 auf S. 99 gilt mithin nicht mehr.

Ferner ist nachträglich zu erwähnen, daß der Schieber mit Spreizkugeln nach Abb. 16 unten im Gehäuse einen kugelförmigen Nocken hat, auf den sich seine beiden Platten aufsetzen und der die Spreizwirkung der Kugeln unterstützt.

Die Rollen *h* des Schiebers Abb. 17 werden aus V 2 A-Stahl hergestellt, um Festbrennen oder Festrosten auf ihren Zapfen zu verhüten. Die Führungsleisten *i* nebst ihrer unteren Abschrägung werden von oben her gestoßen. Durch Wahl eines einige Millimeter größeren oder kleineren Durchmessers der Rollen *h* läßt sich erreichen, daß die Platten *a* und *b* fest und dicht auf ihren Sitzen liegen und dennoch beim Öffnen nur ein Gleitweg von 1 bis 2 mm entsteht. Da im Anfang, wie die *f*-Kurve der Abb. 7 beweist, die Berührungsfläche noch nicht sehr von der ganzen Kreisringfläche abweicht, ist dieses verschwindende Gleiten ohne schädlichen Einfluß auf die Sitz- und Dichtungsringe.

Für manche Schieberarten ist die Maßrichtigkeit von Rippen und Leisten zur Führung des Körpers oder anderer Hilfsteile sehr wichtig.

Über den Drosselverlust in Ventilen, Klappen und Schiebern findet man ein anschauliches Bild im Taschenbuch von Dubbel (4. Aufl. Bd. 1 S. 348); der Druckabfall im Schieber rührt nur von der Unterbrechung der Dampfführung her, die man so kurz halten sollte, wie das Einstemmen der Sitzringe es erlaubt. Dann aber kann man, wie in Abb. 25, die üblichen Dichtungsringe der Schieberplatten in ein Rohrstück a_1 zusammenziehen; in dieses wird ein flacher Teller a_2 eingefügt und so gesichert, daß beide Teile als ein einziger Körper gelten dürfen. Ihn umgreift ein ringförmiger Bügel *b* mit eingeschraubter und vernieteter Spindel *c*; da nun auch *b* und *c* ein Stück bilden, befinden sich im Dampfraume nur zwei Teile: der Schieberkörper *a* und der Bügel *b* (mit Spindel *c*).

Beim Öffnen geht der Ring a_1 auf Führungsflächen *d* des Gehäuses über, die in gleicher Ebene mit den Sitzringen *e* und *f* liegen; diese Flächen werden von oben her gefräst, falls man das Gehäuse nicht gemäß Abb. 24 dreiteilig ausführen will. Führungsleisten in der zur Rohrachse senkrechten Mittelebene hat das Gehäuse nicht; der Spindel *c* wird die Drehmöglichkeit durch eine über der Stopfbüchse aufgestiftete und an den Säulen des Deckelaufsatzes geführte Brille genommen. Auch die untere Hubbegrenzung bilden Anschläge an den Säulen, damit die freie Ausdehnung der Spindel nicht gehindert ist.

Die Führungsflächen *d* sind gegenüber der Längs-Mittelebene des Gehäuses ungleich verteilt; das bezweckt, auf den sich im Bügel *b* frei drehenden Schieberkörper *a* beim Öffnen und Schließen ein Drehmoment auszuüben. Es wäre ein höchst unwahrscheinlicher Zufall, wenn der Schieber nach seiner Betätigung in dieselbe Drehlage zurückkehrte, die er vorher eingenommen hatte; die Abnutzung verteilt sich mithin auf den ganzen Umfang des Ringes, wodurch der Schieber länger dichthält. Bei höheren Spannungen ist, wie bei den meisten Schiebern, eine Umgehung anzuordnen; den Druckausgleich spürt der Maschinist an der Verringerung des Handradwiderstandes.

Darmstadt. [R 228] Dr.-Ing. G. W. Köhler.

Die neuen eisernen Personenwagen für die chilenische Staatsbahn.

Von Abteilungsdirektor Dipl.-Ing. Strecker, Breslau.

Die bei eisernen Personenwagen unter Einwirkung der Mittelpufferkräfte und für erhöhte Rammsicherheit erforderliche Konstruktion wird erläutert und die sonstige Einrichtung der Wagen besprochen.



Abb. 1. Eiserner Personenwagen für Chile, gebaut von der Linke-Hofmann-Lauchhammer A.-G., Werk Breslau.

Trotz des Niederganges der deutschen Wirtschaft ist es dem Werk Breslau der Linke-Hofmann-Lauchhammer A.-G. gelungen, einen namhaften Auslandauftrag von 47 Personenwagen 1. Klasse für die chilenische Staatsbahn zur Ausführung zu bringen. Diese Fahrzeuge, die aus Eisen hergestellt worden sind, zeigen gegenüber der Konstruktion deutscher Personenwagen[1]) so erhebliche Abweichungen, daß eine nähere Erläuterung der technischen Einzelheiten von allgemeinem Interesse sein dürfte.

Die Raumeinteilung der Wagen ist aus den Abb. 1 bis 4 ersichtlich. Die größte Wagenlänge beträgt 22 560 mm. Bei der Konstruktion der Fahrzeuge war in erster Linie der Gesichtspunkt maßgebend, wenig Preßteile zu verwenden, um spätere Instandsetzungsarbeiten ohne erhebliche Schwierigkeiten ausführen zu können. Die Chilenische Staatsbahn verlangte vor allen Dingen eine kräftige Wagenkonstruktion, weil eine rücksichtslose Handhabung der Fahrzeuge durch das Rangierpersonal beim Kuppeln der Wagen die Regel ist. Infolge Verwendung der Zentral-Mittelpufferkupplung, die bei der Chilenischen Staatsbahn schon seit einer Reihe von Jahren eingeführt ist, wirken heftige Rangierstöße für den Wagen naturgemäß um so ungünstiger, je leichter das Untergestell ausgeführt ist. Deshalb wurden starke, kastenförmig genietete Mittellangträger gewählt, die so kräftig ausgebildet sind, daß Stoßkräfte bis 60 000 kg noch mit großer Sicherheit ohne erhebliche elastische Formänderungen übertragen werden können.

Die Wagen müssen aber nicht allein den heftigsten Rangierstößen genügen, sondern sie sollen auch so widerstandfähig sein, daß bei Zusammenstößen die auftretenden Massenkräfte keine erhebliche Zerstörung der Untergestelle und der Stirnwände herbeiführen. Deshalb wurden die Erfahrungen, welche bei den nordamerikanischen eisernen Wagen, die ebenfalls eine Mittelpufferkupplung haben, gesammelt worden sind, berücksichtigt und die Konstruktion des vorderen Wagenteiles an den Vestibülen entsprechend ausgebildet, ohne allerdings den in Amerika so beliebten Stahlguß als Versteifung des Untergestelles zu verwenden. Diese Verstärkung ist durch Platten und Diagonalverstrebungen, die von den Kopfstücken nach dem Hauptquerträger reichen, bewirkt worden. Es ist daher den höchsten Anforderungen an die Festigkeit des Wagens Genüge geleistet worden. Wie aus den Belastungsgrundlagen, Abb. 5 und Zahlentafel 1 ersichtlich, können mindestens vier- bis fünfmal so hohe Stoßkräfte durch den Hauptlangträger geleitet werden, ohne daß eine dauernde Formveränderung zu befürchten ist, zumal bei dem rechnerischen

Zahlentafel 1.

Spannungen im Hauptlangträger in kg/cm².

a) Spannungen aus Eigenlast und Personenlast;
b) Spannungen aus Eigenlast, Personenlast und Pufferstoß;
c) Spannungen aus Eigenlast, Personenlast und Anfahrzug.

Spannung im Querschnitt	unten			oben		
	a	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
q . . q	— 216	—	—	+ 200	—	—
p . . p	— 248	— 573	— 115	+ 122	— 173	+ 245
n . . n	— 298	— 952	— 64	+ 167	+ 61	+ 217
a . . a	— 324	— 1055	— 64	+ 213	+ 232	+ 223
b . . b	— 248	— 733	— 76	+ 261	+ 324	+ 250
c . . c	— 315	— 891	— 111	+ 381	+ 573	+ 329
s . . s	— 397	— 1027	— 173	+ 488	+ 751	+ 415
k . . k	— 220	— 799	— 17	+ 263	+ 453	+ 210
l . . l	— 138	— 872	+ 120	+ 136	+ 362	+ 74
i . . i	— 38	— 655	+ 179	+ 40	+ 174	+ 7
e . . e	+ 140	— 643	+ 417	— 101	— 14	— 113
d . . d	+ 464	— 119	+ 674	— 356	— 373	— 335
g . . g	+ 582	+ 142	+ 744	— 454	— 550	— 406
f . . f	+ 651	+ 295	+ 784	— 520	— 660	— 459
h . . h	+ 673	+ 317	+ 806	— 538	— 678	— 477
m . . m	+ 654	+ 306	+ 779	— 522	— 667	— 465

Die Bruchsicherheit auf Knickung ergibt
in Bezug auf die x-Achse die Zahl 10,7
in Bezug auf die y-Achse die Zahl 9,7.

[1]) Vergl. Z. Bd. 65 (1921) S. 261 u. f.

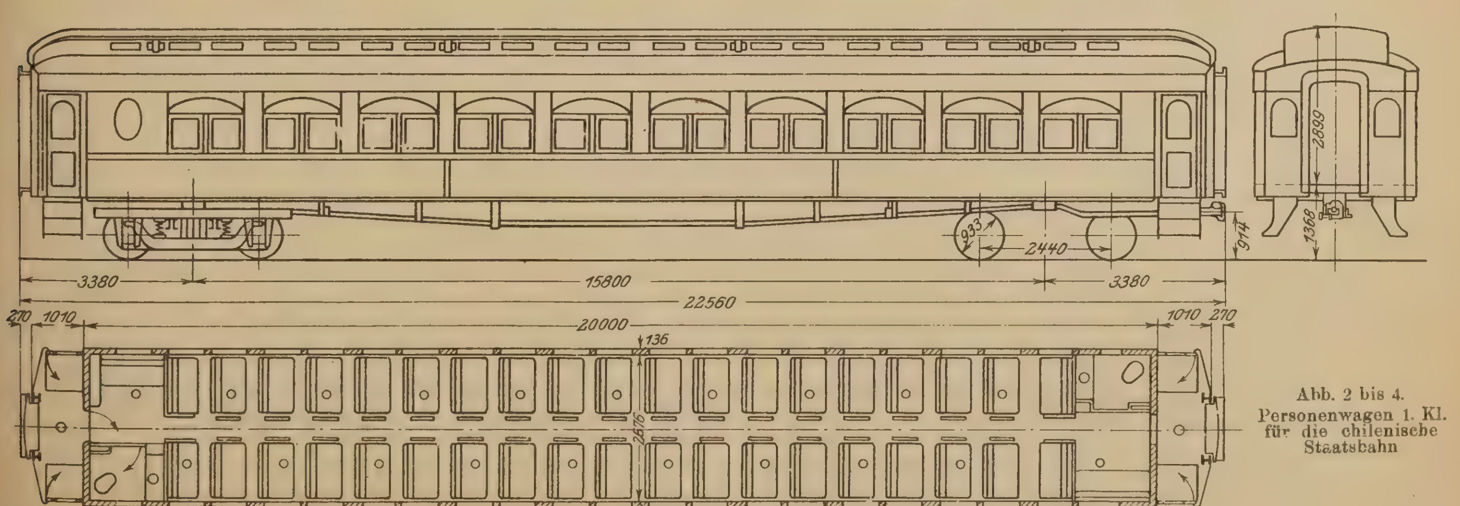


Abb. 2 bis 4. Personenwagen 1. Kl. für die chilenische Staatsbahn

Nachweise der Einfluß der beim Stoß infolge der elastischen Durchbiegungen verzehrten Kräfte noch nicht berücksichtigt ist. Man kann daher annehmen, daß bei der gewählten Konstruktion die Sicherheit der Fahrgäste bei Zusammenstößen nach Möglichkeit gewährleistet ist.

Infolge dieser Anforderungen ist das Eigengewicht der Wagen von 53 500 kg gegenüber dem unsrer deutschen eisernen Wagen höher, aber durch günstige Materialverteilung doch noch nicht so hoch, wie bei den gleichlangen amerikanischen Fahrzeugen. Die Konstruktion des eisernen Wagenkastens gestaltete sich besonders deswegen schwierig, weil der lange Innenraum ohne jede Querversteifung ausgeführt werden sollte. Hierbei kam aber der kräftig gewählte Mittellangträger zu Hilfe, weil dieser nicht allein den größten Teil der auftretenden senkrechten Belastungskräfte, sondern auch die durch Stoß hervorgerufenen dynamischen Einwirkungen aufnimmt. Um ferner der Ausbauchung der Wagenwände in der Mitte entgegenzuwirken, wurde der Wagenkastenaufbau konstruktiv so ausgebildet, daß er, in der Drehzapfenebene unterstützt, sich selbst tragen kann, ohne nennenswerte Formänderungen zu zeigen. Hierzu kommt man, wenn bei der Rechnung die Fensterausschnitte enthaltenden Seitenwände als Rahmenflächen angesehen werden, wobei die Dachbelastung ausschließlich als auf die Pfosten wirkend, gerechnet wird. Die Pfosten selbst sind aus gewalztem Z-Eisen hergestellt und mit den unteren U-Eisen-Längswandträgern fest vernietet.

Ganz besondere Sorgfalt wurde auf die Ausbildung des Daches und der damit in Verbindung stehenden oberen Seitenwandgurtung gelegt. Die Dachspriegel sind aus Winkeleisen gebildet und haben die dem Oberlichtaufbau entsprechende eckige Rahmenform erhalten. Um das Oberlicht zu verstärken und die Tragfähigkeit in senkrechter Richtung zu erhöhen, sind die äußeren Wandflächen dieses Dachteiles durch 3 mm starke, mit Ausschnitten für die Fensteröffnungen versehene gepreßte Rahmenbleche versteift. Alle diese Maßnahmen sind aber noch nicht ausreichend, um ein Ausbiegen des Daches in der wagerechten Richtung zu verhindern. Die Dachfestigkeit wird erst durch die das Dach abdeckenden Bleche, die an den Stoßstellen überlappt und mit den Spriegeln gut vernietet sind, erreicht. Der Wagenkasten ist daher trotz der Fensterausschnitte durch die Pfosten- und Dachspriegelvernietungen als ein versteifter Rohrkörper aufzufassen. Diese versteifte eiserne Kastenhülle, welche sich durch die äußeren Langträger an zwei Punkten durch konsolartige Ausleger auf den mittleren Langträger abstützt, kann durch diese geschlossene Verbindung erhebliche Kräfte sowohl in senkrechter als auch in wagerechter Richtung übernehmen. Bei großen Stoßkräften auf den Wagen finden daher bei Durchbiegungen des Hauptlängsträgers gegenseitige Auswirkungen statt, die ausgleichend auf die spezifischen Beanspruchungen einwirken.

Die Wagendachenden haben 3 mm dicke gepreßte Hauben erhalten und sind durch sehr steife breitflanschige doppelte T-Eisen-Stirnwandungen mit dem Untergestell verbunden. Die den Personenraum abschließenden Vestibülwände sind durch kräftige Z-Eisen-Rahmenwerke gebildet und mit 3 mm dicken Blechtafeln verstärkt. Eine besondere fachwerkartige Versteifung verbindet beide Stirnwände eines Vorraums zu einem sehr widerstandfähigen Rammkörper, durch den die Stoßwirkung beim Zusammenprall zweier Wagen abgefangen und ein Aufeinanderklettern der Wagen nach Möglichkeit verhindert werden soll. Hierdurch findet gleichzeitig eine Entlastung der Seitenkonstruktion unter Schonung des mittleren Wagenkastenteiles statt.

Das Wageninnere ist an den beiden Vestibülenden durch eingebaute, sehr bequeme Einsteigtreppen, die durch eine eiserne Klappe abgedeckt werden können, erreichbar. Bevor die aus gepreßtem Blech hergestellte seitliche Eingangstür geöffnet werden kann, muß die federnd abgestützte Klappe entriegelt werden. Die Klappe springt dann selbsttätig in etwa 45° Lage auf und

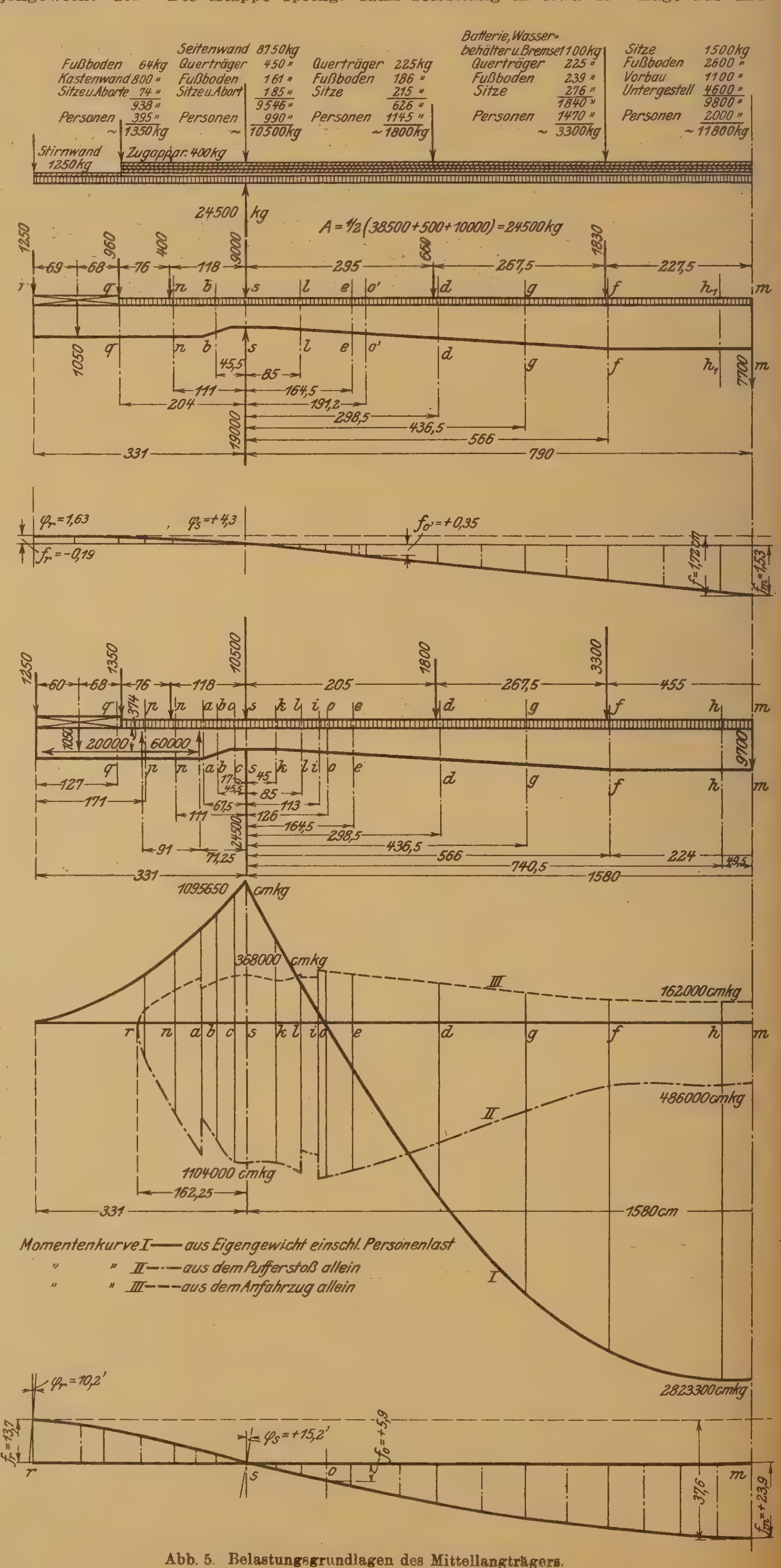


Abb. 5. Belastungsgrundlagen des Mittellangträgers.

muß dann an der Stirnwand verriegelt werden. Besonders einfach ist die Übergangsvorrichtung ausgebildet, die aus einem kurzen harmonikaartig gefalteten dicken Stoffbalgen besteht, der einerseits an der Stirnwand, anderseits an einem sehr kräftigen äußeren Flacheisenrahmen befestigt ist. Dieser Flacheisenrahmen, der die vordere Abschlußebene bei zwei zusammengekuppelten Wagen bildet, ist sowohl am unteren als auch am oberen Teil federnd abgestützt. Die unteren Federn sind sehr steif und können Druckkräfte von 9000 kg bei vollkommen zusammengepreßten Balgen, d. h. bei größtem Puffereinstoß, übertragen. Durch diese federnde Abstützung des Balgenrahmens wird selbsttätig, d. h. ohne jedes weitere Hilfsmittel, sowohl ein guter Abschluß an den Balgen des folgenden Wagens als auch eine erhebliche Anpreßwirkung auf der ganzen Fläche erreicht. Die hierdurch erzeugte ganz erhebliche Reibung zwischen den Flacheisenrahmen wirkt während der Fahrt bei den in Kurven stattfindenden Ausschlägen der Vorbauenden rückstellend und dementsprechend beruhigend auf die Wagenenden, so daß der Lauf des Wagens hinsichtlich der Schlingerbewegungen günstig beeinflußt wird.



Abb. 6. Innenraum der eisernen Personenwagen.

Die zentrale Mittelpuffer-Kupplung nach der Bauart Henricot, die eine federnde Rückstellvorrichtung hat, wirkt auf einen kräftigen Stoßapparat, der durch Verschiebung von Rollen dreiteilige Reibebacken betätigt. Durch die Bewegung dieser Reibebacken wird ein nicht unerheblicher Teil der Stoßkräfte vernichtet.

Die zweiachsigen Drehgestelle für eine Breitspur von 1676 mm sind aus einfachen Profileisenrahmen mit Stahlguß-Achsgabelführungen hergestellt. Der Radstand der Drehgestelle beträgt 2440 mm. Eine vollkommen zentrale Auflagerung der Schwanenhalsträger in Verbindung mit den Spiralfedern sorgt für eine richtige Lastverteilung. Durch diese Bauart und durch Verwendung von sehr hochwertigem elastischem Federstahl für Spiral- und Wiegefedern ist trotz der eisernen Bauart und der schweren Untergestellkonstruktion ein sehr ruhiger und weicher Lauf des Wagens erzielt worden.

Besonders gefährlich für eiserne Wagen ist die Rostgefahr, die durch Niederschlagwasser infolge von Temperaturschwankungen entsteht, wodurch der Wagenanstrich mit der Zeit zerstört wird. Deshalb ist ein guter Anstrich von größter Wichtigkeit, hier um so mehr, da die Wagen in einem Klima laufen werden, wo Tagestemperaturschwankungen von 50° keine Seltenheit sind. Gegen diese Wärme- und Kälteeinwirkungen sind die Blechkastenwände auf der Innenseite mit einer 20 mm dicken elastischen Isolationsschicht bekleidet.

Der Fußboden mit doppelter Verschalung ist aus einem Rahmenwerk aus Eichenholz hergestellt und ruht, in der Mitte über dem Hauptträger freischwebend, durch Filzzwischenlagen auf den äußeren Langträgern auf. Der Zwischenraum des Fußbodens ist zur Schalldämpfung ebenfalls mit Isolierschicht ausgefüllt. In den Seitenwänden sind Holzrahmen-Doppelfenster aus Mahagoni eingebaut, die durch Hochschieben geöffnet und in jeder Lage durch federnde Schlösser festgehalten werden können.

Der 20 m lange Innenraum, Abb. 6, ist mit Wendesitzen nach eigener Konstruktion ausgerüstet, deren Sitzflächen beim Umlegen der Rückenlehnen sich in eine geneigte Lage einstellen. Die Sitzgestelle sind, mit Ausnahme der Armlehnen, vollständig aus Eisen gefertigt und mit gepreßten Blechfüßen versehen. An der Längswand über den Fenstern sind federnde Springrouleaux befestigt, die durch Reibungsrollen in jeder Lage gehalten werden können. Im Oberlichtaufbau befinden sich Lüftungsklappen, außerdem sind zur Entlastung Rosetten mit Ventilatoren nach dem bei der deutschen Reichsbahn bewährten System des Oberregierungsbaurates Wendler vorgesehen, so daß für ausreichende Lüftung gesorgt ist. Kupferdrahtsiebe schützen gegen die lästige Staubentwicklung.



Abb. 7. Wagenende.

Die innere Ausstattung ist sehr geschmackvoll ausgeführt und besteht vollständig aus poliertem Mahagoniholz, mit einfacher Linienintarsierung versehen. Die innere Decke ist aus Eisenblech hergestellt, das, gut gestrichen und lackiert, mit Absatzlinien verziert ist. An jedem Wagenende, Abb. 7, ist ein Abortraum vorhanden. Das für diese Räume erforderliche Wasser ist in einem Behälter unter dem Wagen aufgespeichert und wird durch Preßluft, die aus der Hauptleitung entnommen und durch Ventile auf 1½ at reduziert wird, zur Speisung der Wascheinrichtung und zum Spülen des Abortes benutzt. Außerdem ist ein Trinkwasserbehälter in die Abortwand eingebaut und vom Personenraum aus benutzbar. An jedem Wagenende können die beiden letzten Sitze des Wageninnern durch einen Schiebevorhang zu einem Damenabteil hergerichtet werden.

Die Beleuchtung des Wageninnern ist elektrisch. Der Strom für die Speisung der Lampen wird durch eine im Untergestell aufgehängte und von der Achse aus angetriebene Dynamomaschine nach dem System Stone erzeugt. Außerdem sind zwei im Untergestell untergebrachte Batterien als Stromspeicher vorgesehen. Zwei oszillierende elektrische Ventilatoren sorgen in der heißen Jahreszeit für den nötigen Luftumlauf im Wageninnern.

Die Wagen laufen vom Werk Breslau auf eigenen Drehgestellen mit Sonderachsen für deutsche Spur nach Hamburg, wo der Kasten unzerlegt nach Anbringung einer Verschalung auf dem Deck von Frachtdampfern zur Weiterbeförderung nach dem Ausschiffungshafen Valparaiso, Chile, verstaut wird. [A 135]

Maschinen zur Pappschachtel-Fabrikation.

Von G. Meyer-Jagenberg, Berlin.

Vorgänge bei der Herstellung von Pappschachteln. Arbeitsweise und Leistungen der dabei benutzten Maschinen.

Der Bau von Schachtelmaschinen in England hat während der letzten Jahre einen bedeutenderen Umfang angenommen, als die Einfuhr dieser Sondermaschinen aus Deutschland fortfiel und die englische Industrie den Wert der Pappschachtelverpackung in steigendem Maße einsah. Man hat nachgewiesen, daß England verschiedene Teile seines Auslandhandels an Länder verloren hat, die den Vorteil der handlicheren und gefälligeren Schachtelpackung gegenüber der Einwickelverpackung eher erkannt hatten.

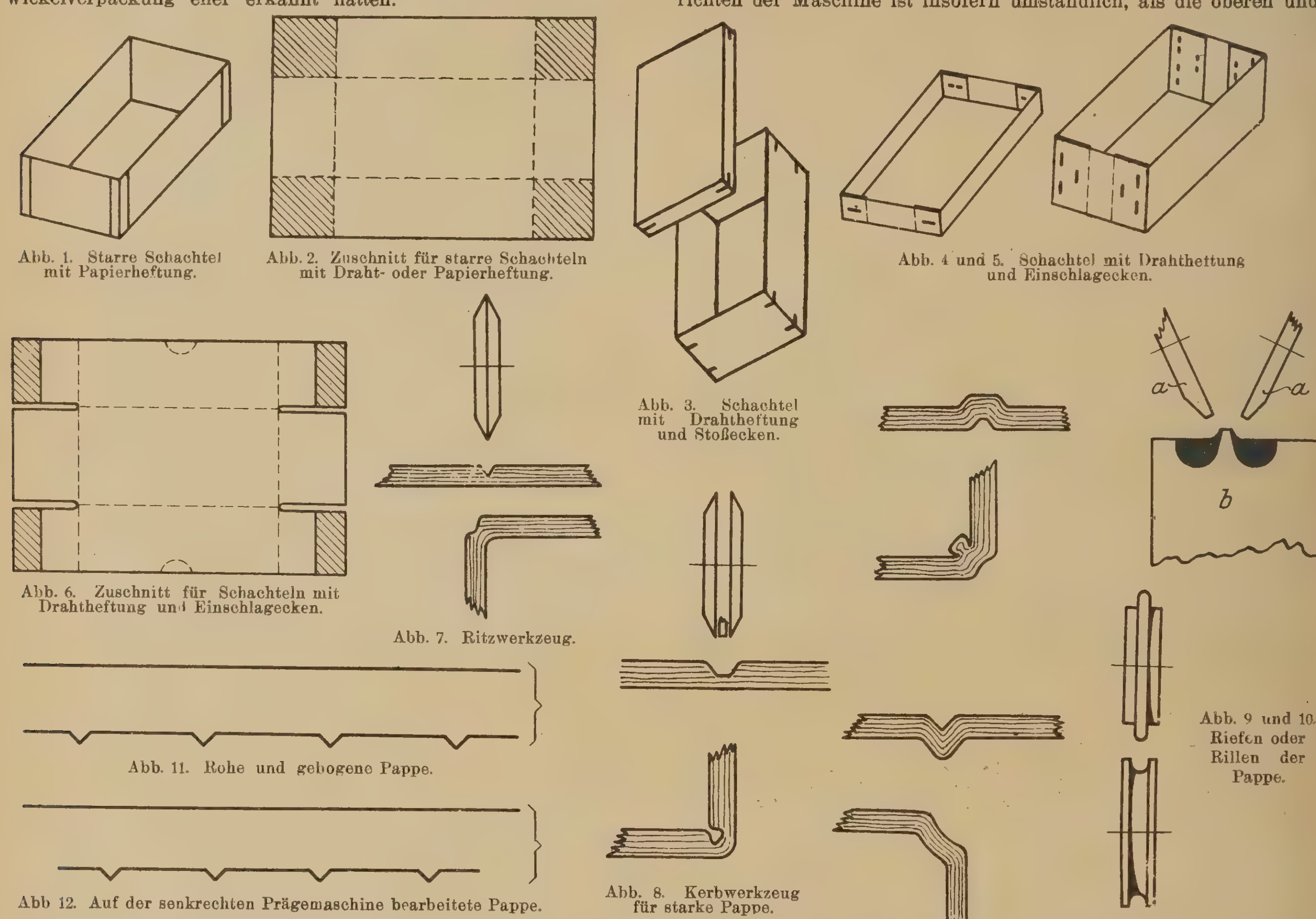


Abb. 1. Starre Schachtel mit Papierheftung.

Abb. 2. Zuschnitt für starre Schachteln mit Draht- oder Papierheftung.

Abb. 3. Schachtel mit Drahtheftung und Stoßecken.

Abb. 4 und 5. Schachtel mit Drahtheftung und Einschlagecken.

Abb. 6. Zuschnitt für Schachteln mit Drahtheftung und Einschlagecken.

Abb. 7. Ritzwerkzeug.

Abb. 8. Kerbwerkzeug für starke Pappe.

Abb. 9 und 10. Riefen oder Rillen der Pappe.

Abb. 11. Rohe und gebogene Pappe.

Abb 12. Auf der senkrechten Prägemaschine bearbeitete Pappe.

Unter andern stellt auch die Firma Vickers Schachtelmaschinen her,[1]), die sämtlich zur Erzeugung von „starren Schachteln" dienen, während Maschinen zur Herstellung der gerade in Deutschland sehr beliebten „Faltschachteln" anscheinend nicht gebaut werden.

Die Schachteln werden aus Strohpappe oder zumeist aus brauner Holzpappe mit Draht- oder mit Papierstreifen-Eckenheftung hergestellt. Während Schachteln mit Papierheftung, Abb. 1, in den meisten Fällen aus einem Zuschnitt mit ausgestanzten Ecken, Abb. 2, also mit Stoßecken ausgeführt werden, können Schachteln mit Draht-Eckenheftung außer nach dieser Art, Abb. 3, auch mit Einschlagecken, Abb. 4 und 5, aus einem Zuschnitt nach Abb. 6 hergestellt werden. Schachteln, die wegen des besseren Aussehens mit Papier überklebt werden sollen, führt man nur mit Stoßecken und Papierheftung aus, da sonst der Leim den Heftdraht verrosten und der Rost das Überziehpapier färben würde. Außerdem würde das Papier über dem Heftdraht nicht gut anliegen und die Schachtel nicht gut aussehen.

Der erste Vorgang bei der Erzeugung der Schachtel ist das Anfertigen des Zuschnittes aus der Rohpappe in den gewünschten Abmessungen, zumeist gleichzeitig mit den Ritz- oder Biegelinien. Man benutzt hierfür gewöhnlich eine **Schneide- und Ritzmaschine** mit umlaufenden Messern, worauf die Rohpappe bei einem Durchgang in Streifen geschnitten und der Länge nach geritzt, und beim zweiten Durchgang senkrecht zur ersten Stellung eingelegt, in die einzelnen Zuschnitte zerteilt und quer geritzt wird. Die Maschine erfaßt die mit der Hand eingeführte Pappe mit den Speisewalzen und schiebt sie zwischen den übereinander liegenden Messerwellen, die mit scheibenförmigen Messern versehen sind, hindurch. Hinter den Messerwellen liegt die Ritzwalze, über der an einem Querbalken befestigte Ritzwerkzeuge stehen. Das Einrichten der Maschine ist insofern umständlich, als die oberen und unteren Scheibenmesser genau gegeneinander eingestellt werden müssen, wenn sie einen sauberen Schnitt geben sollen. Einfacher ist es, wenn die Maschine nur mit Obermessern arbeitet und die Ritzwalze gleichzeitig zur Aufnahme des Schnittdruckes benutzt wird. Das Ritzwerkzeug, Abb. 7, ist eine Stahlscheibe von etwa 60 mm Dmr., die sich am Umfang zu einer Schneide verjüngt. Die Maschine arbeitet mit einer Durchgangsgeschwindigkeit der Pappe von rd. 35 m/min und verbraucht ¼ bis ½ PS. Bei Verarbeitung von starker Pappe kann man das Ritzwerkzeug durch ein Kerbwerkzeug, ein Paar scharfkantiger Stahlscheiben, ersetzen, zwischen denen sich ein spanabhebender Hobel befindet, Abb. 8. Hiermit sind Kerbbreiten von 3 bis 7 mm herstellbar. Das Ritzen oder Kerben schwächt natürlich die Pappe, da ein Teil der Fasern durchschnitten wird. Das Kerben ist überhaupt nur möglich, wenn die Pappe so dick ist, daß die Schwächung unwesentlich ist.

Ein zweites Verfahren, den Zuschnitt zur Formung der Schachtel vorzubereiten, besteht darin, daß man Riefen oder Rillen an Stelle der Ritzlinien anbringt. Hierbei wird, wie in Abb. 9 und 10 dargestellt, die Faser an den betreffenden Stellen nur gebogen und nicht zerschnitten. Bei stärkeren Pappen läßt sich das Verfahren nach Abb. 9 anwenden, das auf einer der vorbeschriebenen ähnlichen **Schneide- und Biege-Maschine** ausgeführt wird. Diese Maschine trägt am Querbalken statt der Ritzrollen zwei gegeneinander geneigte stumpfe Scheiben *a*, s. Abb. 9, und statt der Ritzwalze eine mit Riefscheiben *b* be-

[1]) Engineering Bd. 114 (1922).

setzte angetriebene Welle. Die Riefscheiben haben eine Ringrippe, die über den Umfang der Scheibe hinausragt und daneben rechts und links mit Hartgummi ausgelegte Ringnuten. Die Pappe wird so von den stumpfen Scheiben über diese Ringrippe gebogen. Bei dünneren Pappen wird das Verfahren nach Abb. 10 benutzt, wo je eine obere und eine untere Riefscheibe, die eine mit einer Ringrippe, die zweite mit einer Ringnut, gegeneinander arbeiten.

Die Maschine mit umlaufenden Werkzeugen hat bei der Anwendung der Biegemethoden statt der Ritzmethoden den Nachteil, daß die Pappe stark auf Dehnung beansprucht wird. Da immer mehrere Biegelinien gleichzeitig eingedrückt werden, muß sich das Material so weit dehnen, daß die Verlängerung genügt, um die Riefen zu bilden. Der Zuschnitt hat also nach dem Riefen dieselbe Breite wie vorher, Abb. 11. Viele Pappensorten eigenen sich wegen ungenügender Elastizität nicht für diese Art der Verarbeitung und müssen infolgedessen so behandelt werden, daß man zunächst den Zuschnitt auf einer Schneidemaschine nur auf Maß herstellt. Das Riefen erfolgt dann auf einer grundsätzlich anders arbeitenden, der sogenannten senkrechten Biegemaschine, die pressenähnlich arbeitet. Jede Biegelinie wird hier einzeln eingedrückt, so daß sich das Material nicht zu strecken braucht, s. Abb. 12. Der Zuschnitt hat natürlich nach dem Riefen nicht mehr die frühere Breite. Diese Biegemaschine arbeitet erklärlicherweise viel langsamer als die Maschine mit umlaufenden Werkzeugen. Sie liefert bei höchstens 80 Hüben in der Minute z. B. bei Herstellung von 4 Biegelinien an jedem Zuschnitt bis zu 1200 geriefte Zuschnitte in der Stunde. Solche Maschinen werden für Arbeitsbreiten von 750 bis 1500 mm gebaut. Das Material wird mit der Hand auf dem Pressentisch unter den Druckstempel geschoben, und dann wird durch Niedertreten eines Fußhebels eine für eine Umdrehung kuppelnde Kupplung eingerückt. Der obere Querbalken mit dem Druckstempel wird damit durch einen Exzenter auf den Zuschnitt herunter bewegt und preßt mit Hilfe eines bis zu einem gewissen Grade nachgebenden Gegenhalters, der in die Tischplatte eingebaut ist, eine Riefe in den Zuschnitt. Der Stempel geht dann wieder nach oben und die Kupplung rückt selbsttätig aus.

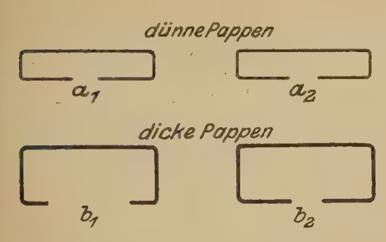


Abb. 13. a_1 und b_1 Heftung durch Maschine mit unveränderlichem, a_2 b_2 durch Maschine mit veränderlichem Vorschub.

Der auf Maß zugeschnittene und geritzte oder geriefte Zuschnitt kommt nun in die Ecken-Stanz- und Schlitz-Maschine. Soll eine Schachtel mit Stoßecken angefertigt werden, so werden die vier in Abb. 2 schraffierten Ecken ausgestanzt; bei der Schachtel mit Einschlagecken werden entweder nur die vier Formschlitze angebracht, wenn die Höhe, wie bei Schachteldeckeln, nicht zu groß ist, oder es müssen außer den Schlitzen auch noch die in Abb. 6 schraffierten Teile der Zuschnittecken ausgestanzt werden. Alle Arbeiten lassen sich auf derselben Maschine ausführen, die wie eine Stanze bei jedem Hub zwei Schlitze herstellt oder zwei Ecken ausstanzt. Dabei kann man bis zu sechs Zuschnitten auf einmal einschieben. Die normale Maschine ist mit zwei Stempelträgern versehen, in deren Führungen die Stempel mit den Obermessern auf und nieder gehen. Die Stempelträger sind je nach der Breite der Zuschnitte einstellbar. Verschiebt man den Stempelträger, also den Stempel mit dem Obermesser, so verschieben sich auch die ruhenden Untermesser; es sind also alle Schnittwerkzeuge am Stempelträger befestigt, was die Einstellung sehr vereinfacht. Der Stempel wird von Exzentern aus über eine Gruppe von Schwinghebeln bewegt. Bei Schachteln, deren Deckel und Körper gleiche Höhe haben, müssen aus den Langseiten des Deckelzuschnitts Aussparungen für Daumen und Mittelfinger ausgestanzt werden, damit man den Schachtelkörper beim Abnehmen des Deckels festhalten kann. Zwischen den Hauptstempelträgern befindet sich deshalb noch ein kleiner Daumenlochstempel, der von demselben Antrieb betätigt wird. Auch diese Maschine ist mit einer durch Fußhebel einrückbaren Kupplung versehen, die nach einer Umdrehung selbsttätig ausrückt, wenn die Stempel in ihre Höchstlage zurückgegangen sind. Die Maschine macht 60 Hübe in der Minute, leistet also bei Verarbeitung von z. B. 5 Zuschnitten auf einmal $\frac{60 \cdot 60 \cdot 5}{2} = 9000$ Zuschnitte in der Stunde, da jeder Zuschnitt zweimal eingelegt werden muß.

Nachdem der Zuschnitt soweit vorbereitet ist, kann die Schachtel geformt werden. Bei den hier angeführten einfachen Maschinen formt man die Schachtel nicht maschinell wie beim Schachtelautomaten, sondern mit der Hand, und der Maschine fällt nur die Aufgabe zu, diese Form durch Heften der Ecken festzuhalten.

Zum Draht-Eckenheften einer Schachtel mit Einschlagecken verwendet man die senkrechte oder die Quer-Drahtheftmaschine, je nachdem ob der Draht parallel, Abb. 5, oder senkrecht, Abb. 4, zur Schachtelkante durchgeheftet werden soll. Die Maschinen mit unveränderlichem Materialvorschub werden für verschiedene Drahtvorschübe gebaut, damit sie dicke oder dünne Pappen verarbeiten können. Der Arbeiter schiebt die zu heftende Ecke auf den mit einer wagerechten Oberfläche versehenen Amboß und kuppelt die Maschine mittels einer entsprechenden Kupplung für eine Umdrehung mit der Antriebswelle. Der Draht wird vorgeschoben, abgeschnitten, zur Kramme gebogen, durch die Pappe gestoßen und an den durchtretenden Enden der Kramme umgebogen. Alle Vorgänge spielen sich während einer Umdrehung der Antriebswelle ab, die durch Kurbel und Kurbelstange eine um einen festen Punkt schwingende Steuerscheibe bewegt. In den Schlitzen der Steuerscheibe laufen die Rollen der beiden Steuerhebel für den Drahtvorschub und den Druckstempel. Letzterer nimmt den Biegestempel so lange mit, bis dieser den Draht abgeschert und zur Heftkramme gebogen hat. Dann preßt der Druckstempel die Schenkel der Heftkramme durch die Pappe, worauf die im Amboß liegende Vorrichtung zum Einwärtsbiegen der durchgestoßenen Drahtenden in Tätigkeit tritt. Bei der Maschine für Querheftung ist der Heftkopf um 90° gedreht. Der Amboß ist in der Höhe verstellbar, so daß Pappen bis zu 5 mm Dicke geheftet werden können. Bei Kraftantrieb kann die Maschine 180 bis 200 Heftungen in der Minute ausführen. Die Maschinen werden für verschiedene Drahtdicken und zum Heften mit Rund- oder Flachdraht gebaut.

Maschinen mit verstellbarem Vorschub ermöglichen, die einwärtsgebogenen Enden der Heftkramme bei Verarbeitung verschieden dicker Pappe immer gleich lang herzustellen, Abb. 13. Der Vorschubmechanismus dieser Maschinen ist zwar verwickelter, aber die Einstellung trotzdem einfach, da der richtige Vorschub selbsttätig durch Nachstellen des Amboßes in der Höhe eingestellt wird. Am Amboß und Maschinengestell befinden sich je ein Anschlag, zwischen welche die zu heftende Pappe gebracht wird. Der Amboß wird dann so weit nach oben geschraubt, bis sich die Pappe zwischen den beiden Anschlägen festklemmt. Der Steuerhebel für den Drahtvorschub wird durch das Höherstellen des Amboßes entsprechend früher zum Stillstand gebracht, so daß der Heftdraht um die doppelte Amboßverstellung kürzer wird, da beide Schenkel der Heftkramme verkürzt werden müssen. Mit dieser Einstellung wird auch die Lage des Biegestempels selbsttätig so verändert, daß der abgeschnittene Heftdraht zu einer Kramme mit gleich langen Schenkeln gebogen wird. Der übrige Heftmechanismus ist mit etwas verändertem Antrieb grundsätzlich derselbe, wie bei den Maschinen mit unveränderlichem Vorschub.

Schachteln mit Stoßecken kann man auf einer ebenfalls mit unveränderlichem Vorschub arbeitenden Maschine aus einem Zuschnitt nach Abb. 2 mit Draht heften. Amboß und Druckstempel sind rechtwinklig-dachförmig, so daß der vom Formstempel abgeschnittene und zur Heftkramme gebogene Draht beim Abwärtsgehen des Druckstempels von der Mitte aus rechtwinklig über die Schachtelkante gebogen wird. Dabei dringen die Krammenschenkel durch die Pappe, und die in den Amboß eingebaute Umbiegevorrichtung biegt die Schenkelenden einwärts. Die Maschinen werden für Schachtelhöhen von 225, 300 und 375 mm gebaut. Die 225 mm-Maschine führt minutlich 180 Heftungen bei einem Kraftbedarf von etwa $^1/_8$ PS aus.

Die zweite Hauptgruppe der starren Schachteln hat Ecken, die mit gummiertem Papier geschlossen sind, und wird auf der Papier-Eckenheftmaschine geheftet. Der Zuschnitt, Abb. 2, hat ausgestanzte Ecken und die hergestellte Schachtel mit Stoßecken eignet sich im Gegensatz zu der mit Draht gehefteten Schachtel vor allem zum späteren Überziehen und zum Lagern auf Vorrat, da keine Gefahr des Verrostens des Heftdrahtes besteht. Bei Papierheftung ist ein Papiervorschub von der Länge der Schachtelkante, also bis zu rd. 250 mm, bei jedem Hub notwendig, während bei Drahtheftung auch bei großen Schachteln und starker Pappe nur höchstens 65 mm Drahtvorschub nötig sind. Die Steuerung für den Papiervorschub muß deshalb ganz zwangläufig sein und kann nicht, wie bei Drahtheftung, nur beim Hingang zwangläufig und beim Rückstellen durch Feder erfolgen. Das gummierte Papier zum Heften befindet sich auf einer Rolle und läuft zunächst durch den Kniffer, der mittels zweier Druckrollen den Streifen über einer entsprechenden Führung dachförmig zu einem umgekehrten V knifft. Vom

Kniffer über eine Anfeuchtwalze gelangt der Streifen zum Vorschubmechanismus. Die Vorschublänge wird selbsttätig dadurch eingestellt, daß der ebenfalls dachförmige Amboß aus dem Maschinengestell entsprechend der Schachtelhöhe herausgezogen wird. Das gekniffte und angefeuchtete Papier wird bis über die auf dem Amboß liegende Schachtelkante vorgeschoben und dann durch den Druckstempel von obenher angepreßt. Der Druckstempel ist mit der ihn betätigenden Kurbel durch eine in der Spannung regelbare Feder verbunden, so daß ein guter Anpreßdruck ohne genaues Einstellen des Hubes erreicht wird. Die Maschine macht minutlich 80 bis 90 Hübe und wird für Schachtelhöhen bis zu 150 und 250 mm gebaut. Die normale Breite des Heftpapierstreifens beträgt 25 mm.

Die Papierheftung hat der Drahtheftung gegenüber den Vorteil, daß mit einem Hub immer eine Ecke fertig wird, und der Papierstreifen die Ecke von oben bis unten staubfrei verschließt. Bei der Papierheftmaschine spielt der einwandfreie gleichmäßige und gerade Papiervorschub, wie schon erwähnt, eine wichtige Rolle. Man ist deshalb in Deutschland von der beschriebenen Art, den Heftpapierstreifen vorzuschieben, abgegangen und benutzt Maschinen, bei welchen der Heftstreifen nicht vorgeschoben, sondern vorgezogen wird. Dadurch wird die Verarbeitung von verhältnismäßig dünnem, zähem Papier möglich und die Gefahr der Stauung des durch das Anfeuchten aufgeweichten Papiers beim Vorschieben beseitigt, so daß die Heftung immer einwandfrei wird.

Endlich kann man die Schachtelecke auch durch Blechstreifen-Eckenheftung schließen. Die hierzu benutzte Maschine arbeitet ähnlich der Papier-Eckenheftmaschine. Das Heften mit Blechstreifen ist aber teuerer als mit Papier und hat außerdem bezüglich Rostens die Nachteile der Drahtheftung.

Die durch die beschriebenen Arbeitsvorgänge fertiggestellte Schachtel kann durch Überziehen mit Fantasie-, Bunt- oder Glanzpapier ansehnlicher und gefälliger gemacht werden. Dabei ergibt das Überziehen gleichzeitig noch eine Verstärkung der Schachtel, besonders wenn außer dem eigentlichen Papierüberzug noch ein Streifen zähen Papiers um die Bodenkanten der Schachtel geklebt wird. Maschinen dieser Art kleben gleichzeitig einen Bodenkantenstreifen, einen Streifen Papierspitze am oberen Schachtelrand und den eigentlichen Überzug, der die beiden erstgenannten Streifen etwas überlappt. Die verschiedenen Papiere sind auf Rollen gewickelt und werden beim Arbeiten der Maschine durch die Drehung der Anleimwalze vorgezogen. Die zu überziehende Schachtel wird auf eine auswechselbare Holzform aufgesteckt und das gummierte Überziehpapier wird mit der Hand an die Schachtelwand angedrückt. Wird nun die Maschine eingerückt, so läuft die Holzform mit der Schachtel um und zieht das Papier um deren Wände herum. Nach einer Umdrehung der Schachtel wird der Papierstreifen selbsttätig abgeschnitten. Während der Drehung der Schachtel drückt der Arbeiter das Papier an und faltet den Bodenstreifen unter den Boden um. Die Leistung dieser Maschine hängt infolge der vielen notwendigen Handarbeit sehr von der Aufmerksamkeit und der Geschicklichkeit des bedienenden Arbeiters ab. Im Mittel sollen 300 Schachteln oder Deckel in einer Stunde mit der Maschine überzogen werden können. [A 2117]

Normung von Achsbuchsen mit Rollenlagern von Schienenfahrzeugen.

Von Oscar R. Wikander, New York.

Begründung des Einbaues nur eines Rollenlagers in Eisenbahnwagen-Achsbuchsen — Vorteile der Achsbuchsnormung für die einfache Bestimmung des geeigneten Rollenlagers auf Grund der international vorgeschlagenen Abmessungen und Toleranzen der Rollenlager.

Obwohl die Verwendung von Rollenlagern in Achsbuchsen von Schienenfahrzeugen noch neueren Datums ist und sich erst in der kommenden Zeit weiter entwickeln muß, so ist es doch berechtigt, bereits heute eine Normung von Achsbuchsen von Rollenlagern vorzubereiten; denn man sollte bei einem derartig erweiterungsfähigen Anwendungsgebiet, wie es der Einbau von Rollenlagern in Achsbuchsen von Schienenfahrzeugen ist, nur nach richtig erkannten Grundsätzen vorgehen. Dies ist besonders wegen der wünschenswerten Austauschbarkeit der Lagerteile nötig und heute um so leichter möglich, als die Anschlußmaße der für diesen Zweck in Frage kommenden Rollenlager voraussichtlich in allernächster Zeit genormt sein werden.

Die Belastungsverhältnisse in einer Eisenbahn-Achsbuchse liegen so, daß ein einzelnes Rollenlager genügt. Deshalb muß eine Anordnung von zwei Rollenlagern in einer Achsbuchse als unzweckmäßig bezeichnet werden. Man hat sich anscheinend durch andre Fälle, wie die Ausrüstung von Automobilvorderrädern mit Rollenlagern, dazu verleiten lassen, zwei Lager in eine Achsbuchse einzubauen, hat aber dabei außer Acht gelassen, daß bei Schienenfahrzeugen wesentlich andre konstruktive Verhältnisse vorliegen. Während bei den letzteren das Laufrad mit der Achse fest verbunden und diese im Gehäuse gelagert ist, dreht sich bei Kraftwagenvorderrädern das Laufrad auf der feststehenden Achse, weshalb wegen des Auffangens von in der Richtung der Achse wirkenden Kräften K am Radumfang die Anordnung von zwei Lagern gute Dienste tut, da sie die auftretenden Gegenkräfte K_1 und K_2 aufnehmen. Den Einbau von Rollenlagern in einem Kraftwagenvorderrad veranschaulicht Abb. 1.

Wie überflüssig die Anwendung von zwei Rollenlagern in einer Eisenbahn-Achsbuchse ist, geht auch klar daraus hervor, daß es, und zwar nicht ganz ohne Erfolg, versucht worden ist, solche Achsbuchsen mit einem *einstellbaren* Rollenlager zu versehen, das also gar keine verdrehenden Kräfte aufzunehmen imstande ist. Die erwähnten Kräfte K, die bei Eisenbahnfahrzeugen an und für sich in geringerem Maß auftreten, üben hier wegen der starren Verbindung zwischen Achse und Rad keine verdrehende Wirkung auf die Achsbuchse aus, Abb. 2, so daß demnach der Grund für die Anordnung von zwei Lagern vollkommen fehlt. Die Mittelebene des einzubauenden Rollenlagers soll zweckmäßig mit der Mittellinie des Federbundes zusammenfallen.

Da die meisten Eisenbahnverwaltungen eine höchstzulässige Biegungsbeanspruchung am Achszapfen vorschreiben, kann man für jedes beliebige Rollenlager die höchste Tragkraft berechnen, die dem betreffenden Lager auf Grund der durch die statische Belastung auftretenden Biegungsbeanspruchung am Zapfen zugemutet werden darf. Von den verschiedenen vorhandenen Lagertypen wird man sich wohl in der Regel für das lange Lager der schweren Reihe entscheiden, da dieses den kleinsten Außendurchmesser für eine vorgeschriebene Tragfähigkeit aufweist. Ein möglichst kleiner Außendurchmesser ist häufig sehr erwünscht, da der verfügbare Raum zwischen Achsmitte und Federbundauflage meistens beschränkt ist.

Die Abmessungen der Rollenlager der genannten Reihe, die für den Einbau in Achsbuchsen in erster Linie in Frage kommen, sind in Zahlentafel 1 auf Grund der neuen Vorschläge für internationale Kugellagernormen zusammengestellt, und die Achs-

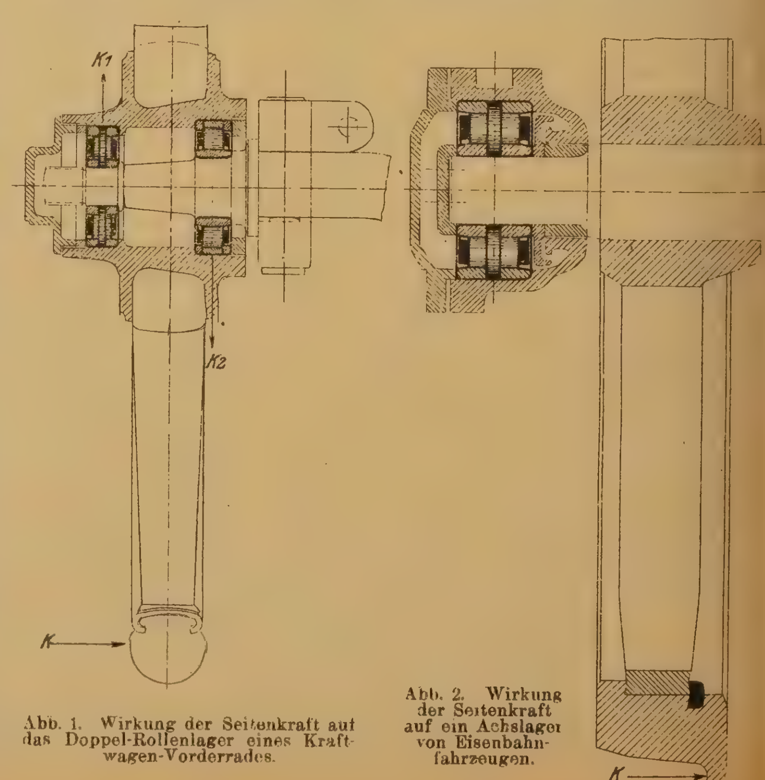


Abb. 1. Wirkung der Seitenkraft auf das Doppel-Rollenlager eines Kraftwagen-Vorderrades.

Abb. 2. Wirkung der Seitenkraft auf ein Achslager von Eisenbahnfahrzeugen.

Zahlentafel 1.

Lager Nr.	Bohrung d mm	Lager-Außen-Dmr. D mm	Breite b mm	Abstand c Lager-mitte bis Achs-schenkel-bund	Belastungszahl[2]) bei 200 Uml./min	Belastungszahl[2]) bei 500 Uml./min	Konstante $A = \frac{0,1\,d^3}{c}$
3410	50	130	53 [1])	36,5	3,80	3,23	3,4
3411	55	140	57	38,5	4,20	3,58	4,3
3412	60	150	60	40	4,75	4,05	5,4
3413	65	160	64	42	5,20	4,45	6,5
3414	70	180	74	47	6,65	5,65	7,3
3415	75	190	77	48,5	7,15	6,15	8,7
3416	80	200	80	50	7,95	6,70	10,3
3417	85	210	86	53	8,30	7,07	11,6
3418	90	225	90	55	10,10	8,50	13,3
3419	95	240	95	57,5	11,70	9,85	14,9
3420	100	250	98	59	13,85	11,70	17,0
3421	105	260	100	60	16,00	13,55	19,2
3422	110	280	108	64	18,60	15,70	20,3
3424	120	310	118	69	21,20	17,80	25,0
3426	130	340	128	74	24,00	19,80	29,7
3428	140	360	132	76	26,60	22,30	36,2
3430	150	380	138	79	29,40	24,20	42,8
3432	160	400	142	81	31,90	26,40	50,7
3434	170	420	145	82,5	34,30	28,70	59,7
3436	180	440	150	85	36,60	31,20	68,7
3438	190	460	155	87,5	38,60	—	78,3

[1]) Die umrandeten Maße sind bereits in Deutschland in DIN 624 genormt Internationale Normen sind sie noch nicht, ebensowenig wie die Abmessungen der größeren Lager, sondern nur Vorschläge, die „zur Annahme empfohlen" sind.

[2]) Die Belastungszahl, geteilt durch den Sicherheitsfaktor (mindestens 1,3) ergibt die zulässige Belastung in t.

buchsen sollten durch entsprechende Festlegung der Abmessungen d, D und b, Abb. 3, genormt werden. Kennt man nun die höchstzulässige Biegungsbeanspruchung des Achsstummels, so kann man für eine verlangte Lagerbelastung bei gegebener Umlaufzahl mit Hilfe einer Konstanten das für diesen Zweck geeignetste Rollenlager bestimmen.

Es bezeichnen

P die höchste statische Belastung des Lagers in kg,
c den Abstand von Lagermitte bis Achsschenkelbund in cm,
k_b die zulässige Biegungsbeanspruchung in kg/cm²,
d den Achsstummeldurchmesser in cm.

Dann ist
$$P\,c = 0{,}1\,d^3\,k_b\,,$$
oder für
$$\frac{0{,}1\,d^3}{c} = \text{Konstante } A$$
$$P = A\,k_b\,.$$

Die Konstante A hängt nach obigem nicht nur von der Bohrung des Lagers, sondern auch von dem Abstand c ab. Dieser setzt sich aus der halben Lagerbreite sowie aus einem zusätzlichen Abstand, der je nach der Anordnung des Lagers auf der Achse verschieden ist, zusammen.

Den folgenden Betrachtungen ist, um einen greifbaren Fall zu behandeln, die übliche Konstruktion der Rollenlager-Achsbuchsen der Firma G. & J. Jäger A.-G. zugrunde gelegt, die in Abb. 3 dargestellt ist. Bei dieser Konstruktion ist, um ein Ausdringen des Schmiermittels zu verhindern, ein Schleuderring s zwischen dem Rollenlager und dem Wellenabsatz angeordnet, der einen Raum von rd. 10 mm auf dem Achsstummel einnimmt. Die Größe des oben erwähnten Abstandes c ist auf dieser Grundlage ermittelt, und die damit berechneten Werte von A sind in Zahlentafel 1 eingesetzt worden. Des weiteren sind die listenmäßigen Belastungszahlen der langen Jaeger-Bundrollenlager der schweren Reihe für 200 und 500 Uml./min aufgeführt.

Das folgende Beispiel soll die Anwendung der obigen Unterlagen veranschaulichen. Es handelt sich um den Großraum-Güterwagen der deutschen Reichseisenbahn, der mit Jaeger-Bundrollenlagern von 100 mm Schenkeldurchmesser ausgerüstet ist und vollkommen zufriedenstellende Versuchsergebnisse gezeigt hat. Die höchste Belastung eines Lagers ist laut Vorschrift der Deutschen Reichseisenbahn $P = 10\,000$ kg. Die höchstens zulässige Biegungsbeanspruchung am Zapfen beträgt $k_b = 700$ kg/cm², die höchste Geschwindigkeit des Wagens 60 km/h, somit bei einem Raddurchmesser von 100 cm die höchste Umlaufzahl der Radachse ungefähr 300 Uml./min. Dieser Umlaufzahl würde nach Zahlentafel 1 eine ungefähre Belastungszahl von 13 000 kg entsprechen. Der Abstand c (halbe Rollenlagerbreite + 10 mm) beträgt 59 mm und somit $A = 17$ bei 100 mm Achsstummel-Dmr. Es ergibt sich demnach nach der obigen Formel
$$P = A\,k_b = 17 \cdot 700 = 11\,900 \text{ kg},$$
d. h. mit mehr als 11 900 kg sollte das Lager wegen der zulässigen Biegungsbeanspruchung im Zapfen nicht belastet werden. So kann für jeden Fall gleich festgestellt werden, ob eine gewisse Lagergröße in dieser Hinsicht geeignet ist. Es ist ferner zu beachten, daß der Wert P kleiner sein muß als die in Zahlentafel 1 angegebene Belastungszahl (Katalogbelastung), und zwar um einen Betrag, der dem erforderlichen Sicherheitsfaktor entspricht. Bei den Jaeger-Rollenlagern genügt es, bei der Verwendung als Achslager mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 zu rechnen.

Abb. 3 zeigt als Beispiel eine ausgeführte Achsbuchse mit Zubehörteilen. Diese Achsbuchse kann man etwaigen Wünschen

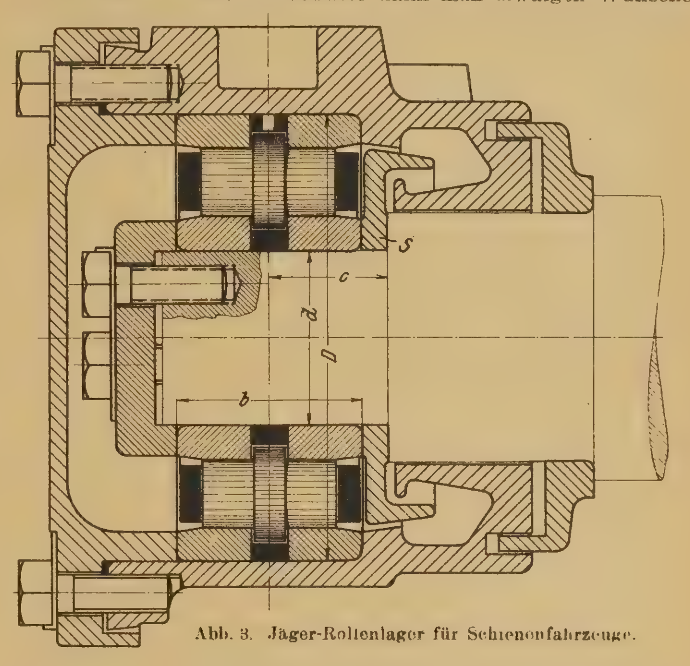


Abb. 3. Jäger-Rollenlager für Schienenfahrzeuge.

der Eisenbahnverwaltungen anpassen, ohne die inneren Hauptabmessungen d, D und b zu ändern, die man beibehalten muß, um die Austauschbarkeit der Rollenlager zu gewährleisten. Diese Forderung kann leicht erfüllt werden, da nicht nur die Abmessungen der Rollenlager, sondern auch die Toleranzen der Lagerbohrung und des Lagerdurchmessers international festgelegt werden sollen, und zwar betragen die vorgeschlagenen Abmaße:

Bohrung d bzw Außendurchmesser D	Abmaß mm oberes	Abmaß mm unteres
über 30 bis 50	0	— 0,012
„ 50 „ 80	0	— 0,015
„ 80 „ 120	0	— 0,020
„ 120 „ 180	0	— 0,025
„ 180 „ 260	0	— 0,030
„ 260 „ 360	0	— 0,035

Da das Lager mit Edelschiebesitz auf der Achse sitzen soll, so ergibt sich für die Abmaße der Wellendurchmesser folgende Zusammenstellung:

Wellendurchmesser	Abmaß mm oberes	Abmaß mm unteres
über 30 bis 50	— 0,003	— 0,021
„ 50 „ 80	— 0,005	— 0,025
„ 80 „ 120	0,009	— 0,031
„ 120 „ 180	— 0,012	— 0,038
„ 180 „ 260	— 0,015	— 0,045

Die Abmaße für die Gehäuse-Innendurchmesser betragen:

Gehäuse-Innendurchmesser	Abmaß mm oberes	Abmaß mm unteres
über 120 bis 180	+ 0,040	+ 0,013
„ 180 „ 260	+ 0,045	+ 0,015
„ 260 „ 360	+ 0,060	+ 0,018
„ 360 „ 500	+ 0,070	+ 0,020

Die Eisenbahnverwaltungen sollten beim Einbau von Rollenlagern in Achsbüchsen diese Richtlinien beachten und nur Rollenlager mit international festgelegten Abmessungen einbauen. Denn jede abweichende Sonderausführung, mag sie sich noch so gut bewähren, hat den Nachteil, daß bei notwendig werdendem Ersatz von Lagern oder deren Einzelteilen die Beschaffung bedeutend schwieriger ist als bei normalen Lagern. Deren Anwendung ermöglicht ferner, den Bedarf bei dem jeweils am günstigsten liefernden Fabrikanten zu decken. [A 2117]

RUNDSCHAU.

Bauingenieurwesen.

Der gegenwärtige Stand des deutschen Eisenbetonbaues.

In alter Anziehungskraft hatte die 27. Hauptversammlung des Deutschen Betonvereines am 25. und 26. April in Berlin zahlreiche Fachleute vereinigt, um durch eine Reihe von Vorträgen und Besprechungen technisch-wissenschaftlicher Art die Fortschritte des Eisenbetonbaues vorzuführen. Für das deutsche Bauwesen sind diese Vorträge in der Zeit der Not vorzügliche Anregungen. Deshalb ist es wohl am Platze, auch an dieser Stelle etwas näher darauf einzugehen, damit weiteren Ingenieurkreisen gezeigt wird, wie weit der Eisenbetonbau imstande ist, sich neue Anwendungsgebiete zu schaffen, wo die Grenzen nach dem heutigen Stande der Technik liegen und nach welcher Richtung weiter gearbeitet wird, um diese Grenzen vorzuschieben.

Das zeigte sich am deutlichsten an dem Vortrage von Prof. Spangenberg, München, über

Eisenbetonbogenbrücken für große Spannweiten.

In dieser Hinsicht hat das Ausland aus naheliegenden Gründen einen gewissen Vorsprung, da die Spannweiten dort bereits 100 m wiederholt überschritten haben, während in Deutschland noch nicht 80 m erreicht sind. Da die größte eiserne Bogenbrücke 300 m Spannweite hat, so ist der Fortschritt beim Eisenbetonbau in dieser Hinsicht nicht groß; außerdem muß man in Betracht ziehen, daß ein Fortschritt gegenüber dem Bau von Bogenbrücken in Mauerwerk oder Beton nur in der wertvolleren Durchbildung der Einzelheiten besteht.

Einer starken Steigerung der Spannweiten steht eben die geringe Ausnützung der Eiseneinlagen in den hauptsächlich auf Druck beanspruchten großen Gewölben und die Abhängigkeit von den zur Bauausführung erforderlichen hölzernen Lehrgerüsten entgegen. Bei gewölbten Brücken von sehr großen Spannweiten sind die Kosten des Lehrgerüstes fast die gleichen wie die der Gewölbe selbst. Deshalb hat man zunächst den Weg beschritten, die massiven Gewölbebogen in einzelne Eisenbetonbogen aufzulösen, wodurch an Eigengewicht und demnach auch an Lehrgerüst und Widerlagern gespart werden kann.

Der Vortragende erblickt mit Recht in der schon seit Jahrzehnten bekannten Bauart von Prof. Melan in Prag die Möglichkeit zu weiteren Fortschritten. Die Eiseneinlagen für die Tragbogen werden als eiserne Fachwerkbogen ausgebildet, aufgestellt und so kräftig bemessen, daß sie die Schalung und die darauf erfolgende Betonierung tragen können, also als Lehrgerüstbinder dienen. Hierbei tritt eine der fortschreitenden Betonierung entsprechende, ungünstige Vorspannung ein, die jedoch am wenigsten ins Gewicht fällt, wenn nach dem Beispiel des Gewölbebaues die Eisenbogen vor dem Betonieren durch Betonkies dem Vorschlage des Vortragenden entsprechend gleichmäßig belastet werden. Hierdurch werden zwar die Beförderungskosten durch Rückbeförderung des Kieses zu den Mischstellen erheblich vermehrt, man kann aber dann die Spannweite in wirtschaftlichen Grenzen vergrößern und große Eisenbetonbogen einwandfrei ausführen. Werden schließlich noch hochwertige Eisen und hochwertige Zemente benutzt, so sind wesentliche Fortschritte für weitgespannte Eisenbetonbrücken immer noch möglich.

Über die Frage des hochwertigen Zementes fand am Schluß der Tagung noch eine besondere Aussprache statt. Das Bedürfnis wurde auch für Deutschland anerkannt und festgestellt, daß in Verbindung mit verschiedenen Zementfabriken die Herstellung solcher Zemente und die Prüfung ihrer näheren Eigenschaften im Gange sind, worüber in einem Vortrag von Prof. Gehler, Dresden, auf der Tagung des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten im März d. J.[1]) weiteres gesagt ist.

Außer vielen Beispielen ausgeführter weitgespannter Bogenbrücken aus Eisenbeton mit großer Pfeilhöhe führte der Vortragende einen kühnen Entwurf für eine Elbbrücke in Dresden von 136 m Spannweite und nur 1/15 Pfeilverhältnis vor. Die Horizontalschübe dieser Brücke werden aber so gewaltig, daß meines Erachtens solche Ausführungen nur möglich sind, wenn der Baugrund gesunder Felsen ist. Da das in Dresden nicht der Fall ist, wie angegeben wurde, so muß die vor der Hand zurückgestellte Ausführung dieser Brücke noch reiflich überlegt werden. Vielleicht ist hier ein Hinweis auf meine ausführliche Darstellung in Z. Bd. 43 (1899) S. 1059 über die 107 m weitgespannte Alexander-Brücke in Paris aus Stahlguß von Nutzen, die mit 1/17 Pfeilverhältnis und 33,50 m breiten Widerlagern erbaut worden ist; der Aufsatz enthält Angaben über den Gleitwiderstand ihrer Bausohlen.

Wenn auch leider für Deutschland die Vergrößerung der Spannweiten der Eisenbetonbrücken vor allem wegen der wirtschaftlichen Verhältnisse noch in weiter Ferne liegt, so brachten zwei andre Vorträge greifbare wirkliche Fortschritte im Betonbau durch das seit einigen Jahren vielfach erprobte

Gußbetonverfahren.

Regierungsbaurat Gaye, Geestemünde, berichtete über dessen Anwendung beim Bau der Doppelschleuse in Geestemünde, die ganz aus Beton mit eisernen Schiebetoren hergestellt ist. Um dem seit 1914 um 50 vH gesteigerten Fischereiverkehr Rechnung zu tragen, hat der preußische Staat ein 1500 m langes Hafenbecken errichtet und dieses mit zwei Doppelschleusen von 100 und 105 m Länge bei 30 und 12 m Breite und 10 m Tiefe bei mittlerem H.-W. verschlossen. Durch das Gußbetonverfahren ist es möglich gewesen, die 32 voneinander durch Fugen getrennten bis 20 m hohen Baublöcke in 2 bis 3 m hohen, in sich vollständig gleichartigen Betonschichten zu gießen. Die Zusatzstoffe werden auf Türmen so hoch gefördert und derartig naß gemischt, daß die Mischung in schwenkbaren Rinnen von 20 bis 28° Neigung der Verwendungsstelle unmittelbar zufließen kann. Durch sorgfältig ausgeführte Untersuchungen hat sich ergeben, daß 1) eine Entmischung nirgends eingetreten ist, 2) der Gußbeton ein vollständig gleichmäßiges und vor allem sehr dichtes Gefüge aufweist und 3) die Festigkeit des Gußbetons im Bauwerk die Festigkeit des Stampfbetons im Bauwerk bei gleichem Mischungsverhältnis mindestens erreicht, zum Teil übersteigt. Es wurden nur geringfügige, bedeutungslose Spannungsrisse beobachtet, während beim Stampfbeton die Risse in den Arbeitsfugen der Großblockbildung oft entgegenstehen. Die Kostenersparnisse beim Gußbeton haben hier 15 vH betragen. Die Staatsbauverwaltung will durch ausführliche Veröffentlichung ihrer Erfahrungen noch den Nachweis führen, daß der Gußbeton dem Stampfbeton technisch und wirtschaftlich überlegen ist.

[1]) Vergl folgende Seite und Wochenschrift „Zement“ 1924 S. 160

In Deutschland ist durch Gebr. Rank in München das Gußverfahren eingeführt worden und ihr Oberingenieur Sturm führte im Anschluß an den vorigen Vortrag die Einrichtungen der Baustelle hierfür vor: Gießturm, Fördereinrichtung der Zusatzstoffe, Ablaufrinnen usw. Der Gießturm wird entweder ortfest gebaut, damit man von einer festen Stelle aus das ganze Bauwerk nach Höhe, Länge und Breite mit Beton beschicken kann, oder auf Gleisen beweglich, so daß in einzelnen Stellungen die verschiedenen Bauabschnitte bestrichen werden können. Bei sehr großen Baustellen stellt man feste und bewegliche Gießtürme auf, auch wohl mit mehreren Mischanlagen übereinander, Fördereinrichtungen mit Fahrstühlen, selbsttätige Trockenmischer usw. Solche Einrichtungen zeigt der Bau des Gas- und Elektrizitätswerks Pforzheim (fester Gießturm 40 m hoch), ferner ein Mischsalzsilo in Oppau, in dessen Längsachse ein fahrbarer Gießturm in 4 Stellungen verwendet wurde. Der Turm dient auch gleichzeitig mit Hilfe von Mastkranen zum Versetzen der großen Platten für die Silowände.

Beim Bau des 300 m langen Kesselhauses in Leuna sind noch erhebliche Ersparnisse an Zeit festgestellt worden. Bei der oben erwähnten Doppelschleuse in Geestemünde war ein 52 m hoher fester und ein verschiebbarer Gießturm, beide mit 2 Mischanlagen erbaut. Ebenso ist auch bei dem unten erwähnten Innwerke das Verfahren mit praktischen Einrichtungen gemäß der örtlichen Eigenart angewendet. Die einzelnen Gießeinrichtungen sind durch wagerechte Brücken miteinander und mit dem unerschöpflichen Kiesvorrat des Wasserschlosses verbunden. Der Betonverein hat sich durch die beiden lehrreichen Vorträge das große Verdienst erworben, dem Gießverfahren neue Freunde gewonnen zu haben.

Wie der Eisenbetonbau sich in

neuen Anwendungsgebieten

zurecht findet, zeigen drei weitere Vorträge, nämlich von Baudirektor Kennerknecht beim Innwerk, von Oberingenieur Kraus von der Allgemeinen Hochbau A.-G. in Düsseldorf beim ersten deutschen Hochhaus und von Direktor Baumstark von Fr. Schlüter A.-G. in Dortmund im Gebiete des Bergbaues.

Das Innwerk ist soeben vollendet und entspricht der Größe nach dem bekannten Kraftwerk der „Mittleren Isar“. Ungünstiges Gefälle, Geschiebe und Eisverhältnisse haben anfänglich den Bau der Wasserkraftanlagen an diesem Voralpenfluß verhindert, die Kriegsfolgen aber haben doch bewirkt, daß das Werk zur Ausführung gebracht und durch Einführung mehrfacher Arbeitsschichten in verhältnismäßig kurzer Zeit vollendet wurde. Der Inn wird in der Gegend von Mühldorf um 6,5 m über N.-W. aufgestaut und das Betriebswasser durch einen 20 km langen Oberwasserkanal dem Kraftwerk zugeleitet, wobei 300 m³/s Höchstwassermenge 100 000 PS Höchstleistung liefern. Durch einen 3 km langen Unterwasserkanal gelangt das Betriebswasser wieder in den Inn zurück. Wehr, Kraftwerk mit Wasserschloß, Rohrbahn, Kanalböschungen bilden für den Beton- und Eisenbetonbau ein vielseitiges Anwendungsgebiet. 16 über den Kanal führende Brücken sind gleichfalls in Beton mit und ohne Eiseneinlagen ausgeführt, ebenso eine dreigleisige Eisenbahnbrücke. Nur zwei Eisenbahnbrücken mußten wegen zu geringer Bauhöhe in Eisen ausgeführt werden.

Das Düsseldorfer Hochhaus, das sogen. „Wilhelm-Marx-Haus“, ist ein Bureaugebäude aus Eisenbeton auf biegungsfesten Eisenbeton-Grundplatten von 55,70 m Höhe mit 12 Geschossen außer dem Kellergeschoß.

Den Eisenbeton im Bergbau zeigte der dritte Vortrag als besonders glücklichen Erfolg. Schächte und Querschläge werden aus einzelnen über Tag angefertigten Eisenbeton-Bogenstücken mit hölzernen Quetschfugen gebildet. Sie haben dem Gebirgsdruck und der unter Tag herrschenden Wärme standzuhalten. Unter Tag hergestellter Beton wird leicht zerstört, da die Wärme dem Beton das zum Abbinden nötige Wasser entzieht. Die Hauptschwierigkeit bereiteten im Bergbau aber die Bodensenkungen. Man baut deshalb Gelenke ein, um nur statisch bestimmte Tragwerke zu bilden. Mit großem architektonischen Erfolge durchgeführt ist der Förderturm der holländischen Staatsminen in Heerlan, der aus vorerwähntem Grunde nur auf drei Punkten gestützt ist und mit 55 m Höhe, also so hoch wie das Düsseldorfer Hochhaus, sich als ein technisches Bauwerk von großer Schönheit darbietet.

Schließlich beschäftigten sich zwei Vorträge auch mit

Schäden an Betonbauwerken.

Die Emscher-Genossenschaft führte durch den Baudirektor Helbing in Essen die durch sulfathaltigen Grund und Sickerwasser hervorgeru-

fenen Schäden vor. Es sind verschiedene Mischungen von Portlandzement und Traß gefunden, die viel besser dem Sulfatangriffe widerstehen als andre. Auch erscheint guter Hochofenzement in dieser Hinsicht besser als Portlandzement. Die Versuche werden fortgeführt, und man hofft, sulfatbeständige Betonmischungen zu finden. Die Frage ist besonders in Industriegebieten von großer Wichtigkeit.

Dann hat der Betonverein durch sein geschäftsführendes Vorstandsmitglied, Dr.-Ing. Petry, die Unfallstelle der eingestürzten Gleno-Talsperre in Oberitalien vor kurzer Zeit besichtigen lassen. Es konnte einwandfrei festgestellt werden, daß das Zerstörungswerk nicht durch die aufgelöste Betonweise, sondern die schlechte Gründung aus Bruchsteinmauerwerk hervorgerufen ist und daß darin die eigentliche Ursache des Einsturzes liegt.

Dem rührigen Deutschen Betonverein sind, wie aus vorstehenden kurzen Berichten erhellt, die deutschen Ingenieure für die geleisteten Darlegungen seiner 27. Hauptversammlung zu großem Danke verpflichtet.

[M 311] Berlin. Karl Bernhard.

Neuere Untersuchungen über hochwertige Zemente[1]).

Am 25. und 26. März d. J. hielt der Verein Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten e. V. seine diesjährige Hauptversammlung in Berlin ab mit einem reichhaltigen Vortragsprogramm. Den Hauptteil eines Tages füllte ein Vortrag des Direktors der Materialprüfungsanstalt Dresden, Prof. Dr.-Ing. Gehler, aus über hochwertige Zemente. Der Vortragende berichtete über umfassende Versuche mit sechs hochwertigen deutschen Portlandzementen und einem sächsisch böhmischen. Aus den Versuchsergebnissen mit rd. 700 Versuchskörpern aus den sechs deutschen Zementen nach 3 bis 180 Tagen Erhärtungsdauer ergaben sich folgende Druckfestigkeiten:

200 bis 250 kg/cm² nach 3 Tagen,
300 „ 350 „ „ 7 „
450 „ 500 „ „ 28 „
475 „ 525 „ „ 45 „
500 „ 550 „ „ 90 „
550 „ 600 „ „ 180 „

gegenüber

120 „ „ 28 „
225 „ „ 365 „

gemäß den Normenvorschriften für normalen Zement.

Diese Ergebnisse sind besonders beachtenswert, weil in letzter Zeit von dem französischen „ciment fondu", der schnelles Abbinden mit großer Festigkeit vereinigen soll, viel Wesens gemacht worden ist. Die volle Festigkeit dieses ciment fondu — doppelt so groß wie die eines normalen Portlandzementes — soll nach drei Tagen erreicht sein. Da der französische Schmelzzement drei- bis viermal so viel kostet als normaler Portlandzement bei einem Mehrpreis von nur 20 vH des deutschen Sonderzementes gegenüber dem normalen Portlandzement, so vertritt Prof. Gehler den Standpunkt, daß die deutschen Sonderzemente mit erheblich geringeren Kosten dieselben Dienste tun wie der französische Schmelzzement.

In der sehr angeregten Aussprache über diesen Vortrag wurde auch die Frage der Festsetzung von Normen für hochwertige Sonderzemente erörtert, die bekanntlich von den Verbraucherkreisen gefordert wird.

In einem Vortrage von Dipl.-Ing. Prüssing, Hemmoor, über kurzfristige Festigkeitsprüfungen wurde zum Ausdruck gebracht, daß bei Sonderzementen die Temperatur von ganz erheblichem Einfluß ist, daß ferner die kurzfristige Prüfung keinen Anhalt für spätere Festigkeit und keinen Maßstab für hydraulische Verhältnisse bietet und deshalb die Normung von Zementen kurzfristiger Erhärtung nicht angebracht sei.

Ein Bericht von Prof. Nacken, Frankfurt a. M., über Versuche zur Erforschung des Abbindevorganges im Zement brachte zwar noch keine Ergebnisse, zeigte aber die Vielseitigkeit der Erhärtungsfrage und die Notwendigkeit, weiter an der Aufklärung der Frage zu arbeiten.

Von besonderem Interesse für die Praxis war ein Vortrag von Dr.-Ing. Zimmermann, Karlsruhe, über Einwirkung von Magnesium-Sulfat-Lösung auf Mörtel und Beton auf Grund von für die Emscher-Genossenschaft angestellten Versuchen. Veranlassung zu den Versuchen hat die umfangreiche Zerstörung von Betonkanälen der Emscher-Genossenschaft im Grundwasser gegeben. Die Versuche dienten der Beantwortung der Frage, ob Portlandzement mit Trass oder Hochofenzement widerstandfähiger gegen die Einwirkung von Magnesium-Sulfat ist. Die mechanischen und chemischen Untersuchungen haben ergeben, daß weder Portlandzement mit Trass, noch Hochofenzement genügend widerstandfähig sind.

Von den übrigen Vorträgen, die besonders die Zementfabrikation zum Gegenstand hatten, ist noch zu erwähnen ein von Dr. Kühl, Berlin-Lichterfelde über Erzeugnisse der hydraulischen Erhärtung und die Voraussetzung ihrer Entstehung erstatteter Bericht, der die drei heute eine Rolle spielenden Zemente: Portlandzement, Hochofenzement und Bauxitzement behandelte. Der Vortragende kam zu dem Ergebnis, daß auf dem Gebiet zwischen Hochofenzement und Portlandzement keine für die hydraulische Wirkung brauchbaren Mörtelstoffe vorhanden sind, daß zwischen Portlandzement und Bauxitzement allerhand Mörtelstoffe zu finden sind, die gerade für deutsche Verhältnisse wichtige Ergebnisse hoffen lassen, und daß schließlich zwischen Hochofenzement und Bauxitzement nach wertvollen Mörtelstoffen gesucht werden muß. [M 261] Bu.

[1]) Vergl. a. Z. S. 476.

Meßgeräte.

Der Juhász Indikator für schnellaufende Explosionsmotoren.

Für die Untersuchung schnellaufender Motoren wird in der Praxis ausschließlich das Abbremsverfahren angewendet; das reicht aber für verschiedene Zwecke nicht aus und hat insbesondere den Mangel, daß die Bremsleistung als Gesamtwert verschiedener Faktoren erscheint, aber nicht die Möglichkeit bietet, Einsicht in den inneren Arbeitsvorgang zu erlangen. Zweifellos ist für diesen Zweck das Aufzeichnen eines Druck-Raumdiagrammes, wie es das Indizieren ermöglicht, dem Abbremsen überlegen; die große Schwierigkeit, die dem insbesondere bei sehr schnellaufenden Motoren im Wege steht, ist, daß bei hohen Drehzahlen die von der Trägheit der Indikatorteile herrührenden Fehler zu groß werden, so daß das Diagramm dadurch vollkommen verzerrt und unbrauchbar wird. Verbesserungsvorschläge und Versuche mit sogenannten optischen Indikatoren haben bisher wenig befriedigt.

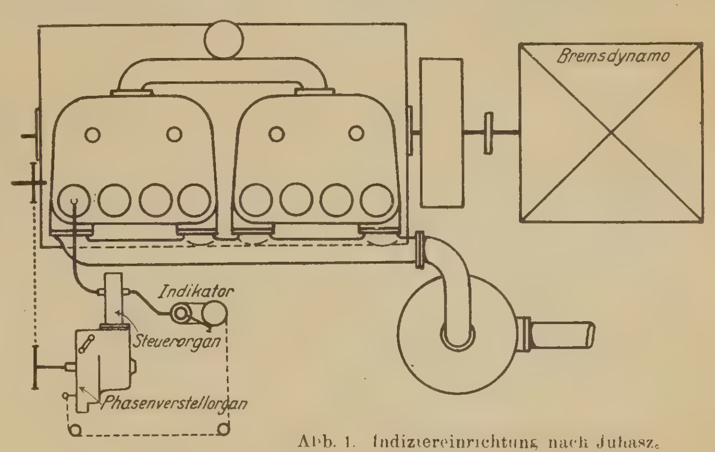


Abb. 1. Indiziereinrichtung nach Juhász.

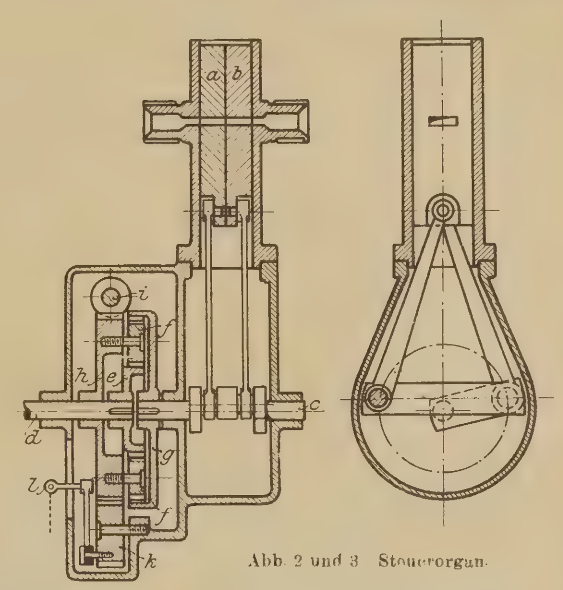


Abb. 2 und 3. Steuerorgan.

Neuerdings hat Dipl.-Ing. K. J. von Juhász die Frage des Indizierens schnellaufender Motoren in einer für die Praxis ausreichenden Weise gelöst[2]). Das Diagramm wird von einem gewöhnlichen Indikator aufgezeichnet und enthält in grundlegendem Gegensatz zu den bisherigen Indiziermethoden Diagrammpunkte aus verschiedenen, aufeinanderfolgenden Kreisprozessen der im Beharrungszustand laufenden Maschine. Das Aufnahmeverfahren beruht auf dem Prinzip der in der Wechselstromtechnik benutzten Joubertschen Scheibe. Ihre Übertragung auf die Mechanik bedingt die Anordnung eines Steuerorganes von kurzer Öffnungsdauer, das zwischen dem Kolbenraum des Schreibstiftindikators und dem untersuchten Motorzylinder eingeschaltet ist und zwangläufig angetrieben wird, so daß bei jedem der aufeinanderfolgenden Kreisprozesse immer in derselben Phase eine Verbindung zwischen den beiden Räumen zustandekommt. Hervorzuheben ist dabei, daß der Antrieb des Steuerorganes verstellbar ist, damit man irgendeine Phase beliebig lange untersuchen kann. Die Lösung für diese Aufgabe fand sich in einer Art von Schiebersteuerung und für die Einrichtung zum Phasenverstellen in einer Art von Planetengetriebe.

Die gesamte Indiziereinrichtung, Abb. 1, besteht demnach aus einem gewöhnlichen Indikator, einem Steuerorgan und der Einrichtung zum Phasenverstellen. Das Steuerorgan, Abb. 2 und 3, bilden zwei gegenläufige Schieber *a* und *b*, die durch die Kurbelwelle *c* mittels Schubstangen betätigt werden. Das Gehäuse dieser Schieber ist mit 2 Öffnungen versehen, wovon eine mit dem Zylinder, die zweite mit dem

[2]) s. Forschungshefte für Autotechnik 1924 Heft 2.

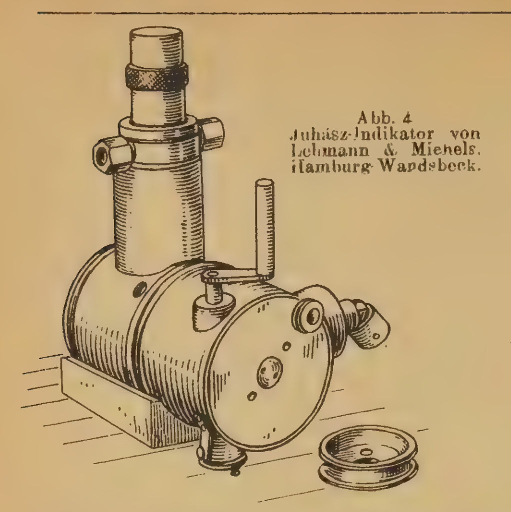


Abb. 4 Juhász-Indikator von Lehmann & Michels, Hamburg-Wandsbeck.

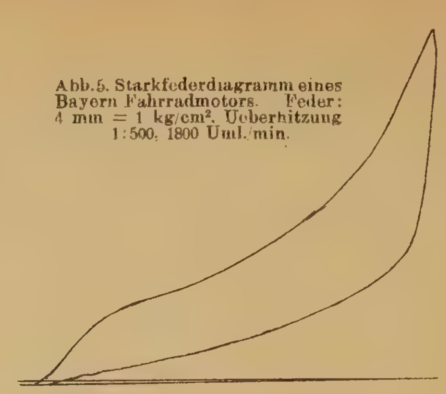


Abb. 5. Starkfederdiagramm eines Bayern Fahrradmotors. Feder: 4 mm = 1 kg/cm², Ueberhitzung 1:500. 1800 Uml./min.

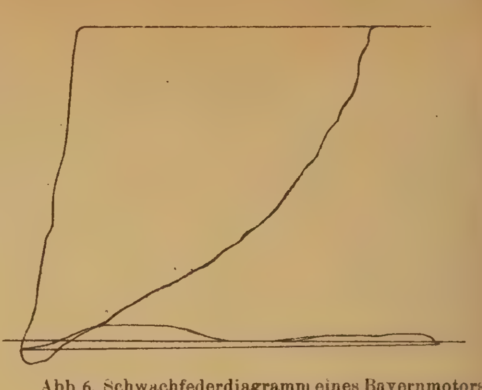


Abb. 6. Schwachfederdiagramm eines Bayernmotors, Federmaßstab 16 mm = 1 kg/cm², 2500 Uml./min.

Indikator verbunden wird. Bei einer bestimmten Stellung der beiden Schieber wird durch die Kanäle der Schieber Verbindung zwischen dem Zylinder und dem Indikator hergestellt. Dies kommt während einer Drehung der Kurbelwelle *c* nur einmal zustande. Die Kurbelwinkel und die gegenseitige Lage der Kanäle sind so gewählt, daß sich die Kanäle bei der größten Geschwindigkeit der Schieber überdecken und infolgedessen die Dauer der Öffnung äußerst gering ist.

Das Steuerorgan wird von der untersuchten Maschine unter Vermittlung des Phasenverstellorganes zwangläufig angetrieben. Die Welle *d* und das darauf sitzende Rad *e* laufen mit der Drehzahl der Hauptwelle und treiben mittels der Planetenräder *f* das Rad *g* auf der Welle *c* an. Die Planetenräder sind im Rad *h* gelagert, das mittels der Schnecke *i* verdreht werden kann.

Die Übersetzung zwischen den Rädern *h* und *k* ist so gewählt, daß beim Verändern der untersuchten Phase um einen Winkel auch das Rad *k* um denselben Winkel gedreht wird. Daher kann der Antrieb der Indikatortrommel vom Rad *k* abgeleitet werden. Wenn in dem zugehörigen Kurbelgetriebe die geometrischen Verhältnisse der untersuchten Maschine nachgebildet werden, dann entspricht die Bewegung des Kreuzkopfes *l* genau der Kolbenbewegung der untersuchten Maschine.

Abbildung 4 zeigt das Gerät in seiner jetzigen Form, Ausführung der Firma Lehmann & Michels, Hamburg-Wandsbeck, Abb. 5 und 6 sind zwei mit dem Gerät an einem BMW-Fahrradmotor aufgenommene Stark- und Schwachfederdiagramme. [R 2115]

Aufbereitung.

Das Vakuum-Schwimmverfahren für die Reinigung der Kohle.

Das Vakuum-Schwimmverfahren greift auf ein von F. E. Elmore 1898 eingeführtes Verfahren zur Reinigung von schwefelhaltigen Erzen zurück, wobei das fein gemahlene Erz zuerst mit einer größeren Menge Wasser versetzt und zu dieser Mischung dann Öl zugefügt wird. Die mineralischen Bestandteile der Trübe bedecken sich dann mit einer dünnen Ölschicht, werden gehoben und wandern in die Ölschicht[1]). Auf diesem Grundsatz baut sich auch das Verfahren von Prof. Diehl für die Kohlenreinigung auf.

Die aschenreichen Kohlen werden weitgehend zerkleinert und mit einer ausreichenden Menge Wasser in einem umlaufenden Mischer *a*, Abb. 7, in den bei *b* kleine Mengen Öl eingeführt werden, innig gemischt. Die ständig in Bewegung gehaltene Trübe fließt sodann in das Rohr *c*, das in den doppelkegeligen Trennungsbehälter *d* einmündet. Hier wird die Kohlentrübe durch eine besondere Anordnung in Wirbelbewegung versetzt, so daß sich die Kohle von den Bergen trennt. Sie steigt wie ein fester zylindrischer Körper nach oben empor, während die Berge und ein Teil der Trennflüssigkeit am untern Teilkegel austreten. Im Gefluter *e* fällt der Kohlenschlamm unter der Wirkung des äußeren Luftdruckes vollständig in sich zusammen, während die Kohle in dem Wasser untersinkt, ohne auf der Oberfläche schwimmende Schlammklumpen zurückzulassen. Das Austragrohr für die Berge *f*, das unter Wasserverschluß in Spitzkasten *g* einmündet, gibt dadurch, daß es tiefer als das Zuführungsrohr für die Trübe liegt, der Anlage eine Saugheberwirkung, so daß die Trübe aus dem Mischer selbsttätig in den Trennungsbehälter gehoben wird.

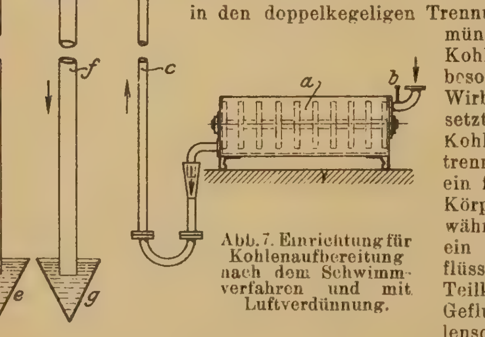


Abb. 7. Einrichtung für Kohlenaufbereitung nach dem Schwimmverfahren und mit Luftverdünnung.

[1]) Vergl. Z. Bd. 65 (1921) S. 654, Bd. 66 (1922) S. 96 Bd. 64 (1920) S. 19 und 528

Die den Auftrieb der geölten Edelgutteile erhöhenden Luftbläschen entstehen dadurch, daß ohne Zusatz von besonderen Schaummitteln durch eine kleine Luftpumpe ein luftverdünnter Raum hergestellt wird und dabei die in der Kohle eingeschlossenen Gase sowie die im Wasser gelöste Luft und Kohlensäure frei werden. Diese Gase tragen die geölten Kohlenteilchen nach oben und bilden einen tragfähigen Schlamm. Ein weiterer Vorzug des mit Luftverdünnung arbeitenden Verfahrens liegt darin, daß der Schlamm nach Verlassen des Trennbehälters durch den äußeren Luftdruck selbsttätig zerstört wird.

Diese Aufbereitungseinrichtungen werden in Betriebseinheiten von je 6 bis 10 t/h Durchsatz an Rohkohlen hergestellt, die je 5 bis 8 t/h Reinkohle bei ungefähr ¼ l/t Schwimmittelverbrauch liefern. Im Gegensatz zu andern Schwimmverfahren werden keinerlei Chemikalien und Schaummittel gebraucht. Flammkohle, Kokskohle, Magerkohle und Anthrazit können sämtlich mit derselben Leichtigkeit durch einmaligen Durchgang gereinigt werden. Der Kraftverbrauch zur Aufrechterhaltung der Luftverdünnung beträgt nur etwa 2 bis 2½ PSh für 1 t Reinkohle. Zwölf und mehr Betriebseinheiten können gleichzeitig von einem Mann überwacht werden. [R 211] Sd.

Verschiedenes.

Vorläufiges Programm der Welt-Kraft-Konferenz.

Über die in London-Wembley im Rahmen der Britischen Reichsausstellung vom 30. Juni bis 12. Juli d. J. stattfindende Welt-Kraft-Konferenz ist nunmehr bekannt geworden, daß nach den offiziellen Eröffnungsfeierlichkeiten des 30. Juni folgende Verhandlungstage der einzelnen Programmpunkte (s. VDI-Nachrichten Nr. 14 vom 2. April 1924) angesetzt sind:

Dienstag, den 1. Juli, und Mittwoch, den 2. Juli:

A) Kraftquellen in den verschiedenen Ländern.

Donnerstag, den 3. Juli, und Freitag, den 4. Juli:

B) Wasserkraftgewinnung,
C) Aufbereitung und Verarbeitung der Brennstoffe,
D) Dampferzeugung und -verwendung.

Montag, den 7. Juli:

E) Verbrennungskraftmaschinen.

Montag, den 7. Juli, und Dienstag, den 8. Juli:

F) Kraftübertragung und Kraftverteilung.

Dienstag, den 8. Juli, und Mittwoch, den 9. Juli:

G) Kraftanwendung in der Industrie und im Haushalt,
H) Kraftanwendung im Verkehrswesen (Straßen, Eisenbahnen, Luft).

Mittwoch, den 9. Juli:

J) Kraft in der Elektrochemie und Elektrometallurgie.

Donnerstag, den 10. Juli:

K) Kraftanwendung im Eisenbahnwesen und in der Schiffahrt; Allgemeines, Erziehung des Technikers und des Kaufmannes sowie Normung.

Am Freitag, den 11. Juli, soll schließlich die Frage einer ständigen Organisation erörtert sowie ein Überblick über die britischen Kraftquellen gegeben werden.

Am 5. und 6. Juli finden keine Veranstaltungen statt. Am Sonnabend, den 12. Juli, und den Tagen der folgenden Woche sind Besichtigungen und Besuchsfahrten vorgesehen.

Zur Vorbereitung der offiziellen Beteiligung Deutschlands, das ebenfalls in aller Form eingeladen worden ist, ist ein Nationaler Ausschuß gebildet worden, dessen Geschäftstelle sich in Berlin NW 7, Sommerstraße 4a (Ingenieurhaus), befindet. Mitglieder des V. d. I., die die Mitgliedschaft der Welt-Kraft-Konferenz (Kosten: 2 £) erwerben wollen, erfahren Näheres durch die Geschäftstelle. [M 312]

Dr.-Ing. eh. Massenez †.

Am 24. Dezember 1923 ist zwei Tage vor Erreichung des 84. Lebensjahres unser langjähriges Mitglied Dr.-Ing. eh. Massenez gestorben. Mit ihm ist ein hervorragender Ingenieur und ein Pionier unsrer in den 80er Jahren so glänzend emporgestiegenen Eisenindustrie dahingegangen. Als Direktor des Hörder Bergwerks- und Hüttenvereins hat er als einer der ersten klar die Bedeutung des Thomas-Gilchrist-Verfahrens für unsre Eisenindustrie erkannt und nach Erwerb der Patente am 22. September 1879 das erste basische Flußeisen in Deutschland er-

blasen lassen. Auch an der Weiterentwicklung dieses für uns so wichtigen Verfahrens hat er erheblich mitgewirkt und die Ausnutzung der Thomasschlacken für unsre Landwirtschaft als erster nachhaltig gefördert.

Nachdem er sich 1891 nach Wiesbaden zurückgezogen hatte, fand sein rastlos schaffender Geist noch lange keine Ruhe, und immer noch wirkte er bei wichtigen Fragen unserer Industrie an bedeutender Stelle mit. So war er für die Einführung des Wassergases in der Beleuchtung an maßgebender Stelle tätig, arbeitete mit Ehrhardt zusammen an dessen Verfahren zur Herstellung nahtloser Stahlhohlkörper und gehörte zu den Gründern der Rheinischen Metallwaren- und Maschinenfabrik in Düsseldorf. Auch machte er auf die Verwendung der nordspanischen phosphorhaltigen Eisenerze für unsre Eisenindustrie aufmerksam und arbeitete selbst mit an der Erschließung und Ausbeutung dieser Lagerstätten.

Neben seiner angestrengten Berufstätigkeit war er auch für das öffentliche Wohl als Stadtverordneter in Hörde und Stadtverordneter in Wiesbaden tätig, und stets hatte er für sein Vaterland, dessen traurigen Niedergang er sich sehr zu Herzen gehen ließ, Zeit übrig. Außer andern Ehrungen wurde ihm im Jahre 1909 seitens der Technischen Hochschule in Charlottenburg in Anerkennung seiner hohen Verdienste um die Eisenindustrie die Ernennung zum Dr.-Ing. eh. zuteil.

Mit Massenez ist wieder einer der führenden Männer dahingegangen, die dem aufblühenden deutschen Industriestaat ihre Arbeitskraft zur Verfügung gestellt hatten; er möge der jüngeren Generation als ein Vorbild unermüdlicher Tätigkeit dienen. [M 301]

Bezirksverein Rheingau
des Vereines deutscher Ingenieure.
Berlit.

Berichtigung.

Die Angaben in Heft 18 S. 429 unter dem Inhaltverzeichnis über die auf der Hamburger Öltagung gehaltenen Vorträge sind dahin zu berichtigen, daß die Arbeit von Prof. Schlawe dort nicht vorgetragen worden ist. [M 309]

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin NW 7, Sommerstr. 4a Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Kulturtechnischer Wasserbau. Von Adolf Friedrich, Hofrat, o. ö. Professor an der Hochschule für Bodenkultur in Wien. I. Bd. 4. neubearb. Aufl. Berlin 1923, Verlag Paul Parey. 652 S. mit 496 Abb. und 20 Taf. Preis geb. ℳ 16.

In einer Zeit, wo die Ernährung des Volkes auf eigener Scholle in deutschen Landen die brennendste aller Fragen ist, gewinnt eine geregelte Wasserwirtschaft, insbesondere die bessere Beherrschung des Wassers zu Zwecken der landwirtschaftlichen Bodennutzung, erhöhte Bedeutung. Das Fundament, auf dem sich Ertragsteigerungen aufbauen, schafft uns eine gute Kulturtechnik.

Es ist darum erfreulich, daß gerade in den letzten Jahren über ihre Grundlehren bedeutsame Handbücher neu oder in verbesserter Auflage erschienen sind, so der „Kulturtechnische Wasserbau" von E. Krüger (1921), die „Kulturtechnische Baukunde" von M. Grantz (5. neubearbeitete Auflage 1923). Sie behandeln getrennt einmal die Kulturtechnik im engeren Sinne, ferner die zugehörige Bautechnik und ergänzen sich zu einer erschöpfenden Darstellung der gesamten Kulturtechnik.

Dagegen faßt Friedrich in seinem vorliegenden Buch den ganzen Stoff in einem zweibändigen Werk zusammen. Das auch in Deutschland gut eingeführte Handbuch trägt im ersten Band besonders eingehend der Praxis des ausführenden Kulturingenieurs Rechnung, ergänzt aber auch die klaren, leicht verständlichen wissenschaftlichen Darlegungen durch neuere Forschungsergebnisse und bringt zugleich einen interessanten Einblick in die Kulturtechnik der alten Völker.

Das Handbuch kann allen Fachleuten aufs Beste empfohlen werden.

Wenn im Einzelnen einige Vorschläge zu Änderungen und Ergänzungen gemacht werden, so soll damit der Wertschätzung des Buches kein Abbruch geschehen, vielmehr dem Verfasser nur Anregung gegeben werden, sie bei der Neuauflage in Erwägung zu ziehen:

Beim Abschnitt „künstliche Entwässerung" dürften wohl die Schöpfräder, die bei kleineren, nicht zu stark wechselnden Hubhöhen sich durchaus bewährt haben, nicht unerwähnt bleiben. Auch der vielseitige Nutzen der Dränungen könnte eingehender behandelt sein. Zu kurz ist auch die für die Praxis so wichtige Dränung im Triebsand (Dichtungsmittel und Grundwasser-Abfangung) gekommen. Bei den Ventildränungen scheint der Hinweis erwünscht, daß bereits vor mehreren Jahrzehnten Exzellenz Kühn auf seinem Gute Lindchen Ventile eingebaut und daran Versuche über den Bestwert der Grundwassersenkung angestellt hat, weiterhin aber auch, daß die Nachteile, die mit den Stauventilen verbundenen Gefällverluste, Verschlämmungen, das seitliche Herumfließen um die Ventile, die störenden Ventilkästen bisher nur zu Enttäuschungen geführt haben. Die Versuche über die Wirkungen von Durchlüftungsdräns sind zwar noch nicht abgeschlossen, dennoch verdienen diese Bestrebungen, die den Forderungen führender Landwirte nach stärkerer Durchlüftung schwerer Boden Rechnung tragen, in einem solchen Handbuche beleuchtet zu werden.

Nicht unerwähnt darf ferner bleiben, daß die Bemessung der Moordräntiefen mit 1,5 bis 2 m leicht zu Fehlgriffen und Enttäuschungen führen dürfte. Wohl können diese Tiefen für schlecht zersetzte Hochmoore angebracht sein, für die besser zersetzten Moore, insbesondere für die Niedermoore von Norddeutschland, sind sie viel zu groß und könnten Anlaß geben, den Vorflutausbau übermäßig zu verteuern. In den deutschen Niedermooren haben sich im allgemeinen 1 m tiefe Moordräns als ausreichend und zweckmäßig erwiesen. Bei der sehr kurzen Behandlung der Beregnungsanlagen, die in Deutschland bereits eine große Verbreitung gefunden haben, vermißt man u. a. Krause-Mannesmann-Regner, die zweifellos ihre gute Eignung bewiesen haben.

Was weiterhin viele deutsche Kulturingenieure bei der Moorkultur ungern entbehren werden, ist die Behandlung des Moorkraftgerätes (Landbaumotor, Kraftpflüge, Scheibeneggen und besonders die Motorwalzen), ohne das eine beschleunigte Urbarmachung der deutschen Moore nicht denkbar ist. Wohl mag die eigentliche landwirtschaftliche Kulturarbeit nicht zur Kulturtechnik im engeren Sinne gehören. Der deutsche, insbesondere der beamtete Kulturingenieur ist berufen, auch hierbei bestimmend mitzuwirken und genötigt, seine Kenntnisse nach dieser Richtung immer mehr zu vertiefen. Wenn sich der Verfasser entschließen könnte, die entbehrlichen Fremdwörter, für die wir gute deutsche Ausdrücke haben, in der nächsten Auflage auszumerzen, würde er den großen Kreis seiner Verehrer in Deutschland zu besonderem Dank verpflichten. [B 126] Mierau.

Berechnung und Konstruktion des Wasserschlosses. Von Fredrik Vogt, Diplomingenieur, Trondhjem, Norwegen. Stuttgart 1923. Ferdinand Enke. 109 S. m. 36 Textabb.

Der Verfasser behandelt 5 Arten von Wasserschlössern: den gewöhnlichen Schacht, den Schacht mit einer untern Kammer zur Begrenzung des Sinkens und einer oberen Kammer zur Begrenzung des Ansteigens des Wasserspiegels; das gedämpfte Wasserschloß, bei welchem zwischen dem Becken oder Schacht und dem Stollen ein Widerstand eingeschaltet ist, z. B. das Wasser hier durch eine kleine Öffnung fließen muß: Johnsons Wasserschloß, vgl. Trans. Am. Soc. Mech. Eng. Bd. 30 (1908) S. 443, Proc. Am. Soc. Civ. Eng. Bd. 40 (1914) S. 2495, dessen Stollen sich durch ein Standrohr fortsetzt, welches von einem gedämpften Wasserschloß umgeben ist, so daß, wenn das Standrohr überläuft, das überlaufende Wasser in das Wasserschloß fällt, aus dem es allmählich in den Stollen zurückkehrt; endlich eine neue Bauart, die aus der Johnsonschen hervorgeht, wenn man noch am Standrohrobérende einen Widerstand hinzufügt. Bei allen Bauarten können, wie der Verfasser nachweist, zunehmende Wasserstandschwingungen vorkommen. Er stellt also — da dies vermieden werden muß — zunächst die Stabilitätsbedingungen fest, wobei er sich auf die bekannte Abhandlung von D. Thoma „Zur Theorie des Wasserschlosses, 1910" stützen konnte. Hierauf leitet er für alle erwähnten Bauarten Formeln ab, die ermöglichen, bei bekannten Abmessungen die größte Steighöhe und Sinktiefe des Spiegels zu berechnen, wobei er nicht nur bei der Johnsonschen und der neuen Bauart, sondern auch bei den andern die Wirkung eines Überlaufes in seine Untersuchungen einbezieht. Er gelangt zu Grundsätzen für die Bemessung und Anordnung des Wasserschlosses und empfiehlt im allgemeinen bei Hochdruckanlagen die Zweikammertype und, wo das Gelände es erlaubt, die Anbringung eines Überlaufes, worin man ihm beipflichten kann. Als Nachteile einer Dämpfung führt er (S. 58, 72, 88) an, daß sie bei plötzlicher Entnahme die Druckverminderung im Stollen steigert, daher bei ihrer Anwendung Vorsicht geboten sei. Hinzugefügt werde, daß eine Dämpfung bei plötzlicher Turbinenentlastung die Druckzunahme im Stollen erhöht und dies die Stollenauskleidung schwer beansprucht.

Besondere Schwierigkeit bot bei manchen Fragen der Umstand, daß die mathematische Behandlung nicht in geschlossener Form bis zur Lösung fortschreiten konnte. So sah sich der Verfasser mehrfach genötigt, durch numerische Integrationen, wovon er etwa 150 ausführte, empirische Ausdrücke abzuleiten. Die algebraische Durchführung ist zielbewußt und gewandt und wird für Leser, die ihr nicht schrittweise folgen, dadurch ergänzt, daß die Ergebnisse in einer Formelsammlung zusammengefaßt sind; auch sind sie durch einige Beispiele erläutert. So stellt das Buch eine sorgfältige, gründliche und einheitlich durchgeführte hydraulische Abhandlung dar, die eine wünschenswerte Ergänzung der über das Wasserschloß bestehenden Literatur bildet. Es sei sehr warm empfohlen. [B 220] Forchheimer.

Wärmewirtschaft im Siedlungsbau. Von Dipl.-Ing. W. Scholtz. Berlin 1923, Albert Lüdtke. 187 S. Preis Gm. 4,50.

Deutschland ist arm geworden. Weiten Kreisen der Bevölkerung ist die Beschaffung der notwendigsten Brennstoffe unerschwinglich. Sparsamstes Haushalten mit so kostbarem Gut ist das Gebot der Stunde, wenn schwere gesundheitliche und wirtschaftliche Schäden für unser Volk hintangehalten werden sollen. Alles zusammenzustellen, was hierzu beim Wohnungsbau und ganz besonders bei der Einrichtung der zumeist für die wirtschaftlich schwächeren Volksschichten bestimmten Siedlungsbauten zu beachten ist, hat das Scholtzsche Buch sich als Aufgabe gestellt und in mustergültiger Weise gelöst. Der Name des in Berliner Wärmewirtschaftskreisen wohlbekannten Ver-

fassers bietet Bürgschaft genug, daß bei der Behandlung aller in Betracht kommenden Fragen strengste Unparteilichkeit waltet.

Sollen Herd und Ofen sich richtig auswirken können, so müssen zuvor beim Entwurf und Aufbau des Hauses Architekt und Bauleiter ihre Schuldigkeit getan haben. Die wärmewirtschaftlichen Vorbedingungen, welche beim Entwurf von Siedlungsbauten zu beachten sind, erläutert der Verfasser an der Hand treffend gewählter Lagepläne und Grundrisse im ersten Abschnitt seines Werkes. Die anschließenden Betrachtungen und Richtlinien über den Wärmeschutz neuzeitlicher Bauweisen geben in treffender Kürze alles, was zur Einführung in das heute so ungemein wichtige Gebiet wesentlich ist, und werden jedem willkommen sein, der sich über Wert und Unwert der zahlreich angepriesenen Sparkonstruktionen ein Urteil bilden muß. Ein weiteres Kapitel behandelt den sachgemäßen Aufbau der Schornsteine, ohne die unsere Heizanlagen nun einmal nicht bestehen oder nicht wirtschaftlich arbeiten können. Für die Auswahl der Heizanlagen werden knapp und sachlich alle erforderlichen Erläuterungen gegeben und weiter die wichtigen Aufgaben des Rostes für die wirtschaftliche Verbrennung dargestellt. Die durch zahlreiche gute Abbildungen unterstützte Besprechung der verschiedenen Heiz- und Kochanlagen gibt ein klar umrissenes Bild aller für den Kleinhausbau in Frage kommenden Ausführungsarten; überall wird dabei unter Verwertung der neuesten Forschungsergebnisse und unter sorgfältiger Berücksichtigung konstruktiver Neuerungen die Frage der wirtschaftlichen Verwendbarkeit herausgearbeitet und in ihren Grundregeln dem allgemeinen Verständnis näher gebracht. Zwei dem Buche angeschlossene Zahlentafeln werden bei der überschläglichen Bestimmung der Heizflächengröße von Kachel- und Eisenöfen wertvolle Dienste leisten. Auch das im Anhang beigegebene Verzeichnis der wärmewirtschaftlichen Organisationen und ihrer Aufgaben wird manchem Leser erwünscht sein.

Alles in allem: ein Buch, das nicht nur dem mit der Errichtung von Kleinwohnungen befaßten Fachmann sein wärmewirtschaftliches Rüstzeug an die Hand gibt, sondern auch von jedem gelesen werden sollte, der seine häuslichen Feuerstätten in ihrer Wirkung verstehen und wirtschaftlich betreiben will. [B 222]

Reg.-Baumeister a. D. Kopfermann.

Elastizität und Festigkeit. Die für die Technik wichtigsten Sätze und deren erfahrungsmäßige Grundlage. Von C. Bach und R. Baumann. 9. verm. Aufl. Berlin 1924, Julius Springer. 687 S. Preis geb. Gm. 24.

Drang und Zwang. Eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure. Von August Föppl und Ludwig Föppl. 2. Aufl. Bd. 1. Munchen und Berlin 1924, R. Oldenbourg XI, 359 S. m. 70 Abb. Preis geh. Gm. 14, geb. Gm. 15.

Untersuchungen über den Einfluß der Betriebswärme auf die Steuerungseingriffe der Verbrennungsmaschinen. Von Dr. C. H. Güldner. Berlin 1924, Julius Springer. 122 S. m. 51 Abb. u. 5 Tafeln. Preis Gm. 5,10, geb. 6.

Die Kältemaschine. Grundlagen, Berechnung, Ausführung, Betrieb z. Untersuchung von Kälteanlagen von M. Hirsch. Berlin 1924. Julius Springer. 510 S. m. 201 Abb. Preis geb. Gm. 20.

Die asynchronen Drehstrommotoren und ihre Verwendungsmöglichkeit. Von Jacob Ippen. Berlin 1924, Julius Springer. 90 S. m. 67 Textabb. Preis geh. Gm. 3,60.

Handbuch der Starkstromtechnik Bd. 1: **Konstruktion und Berechnung elektrischer Maschinen und Apparate.** T. 1: Generatoren, Umformer, Transformatoren. Von R. Weigel u. H. Loewe. 4. Aufl. Leipzig 1923, Hachmeister & Thal. 288 S. m. 265 Abb. Preis Gm. 12.

Elektrische Hochspannungsapparate. Von V. Kulebakin. Berlin 1924, Julius Springer. 89 S. m. 100 Abb. Preis Gm. 4,20.

Anlaß- und Regelwiderstände. Von E. Jasse. 2. Aufl. Berlin 1924, Julius Springer. 177 S. m. 69 Abb. Preis Gm. 6, geb. 6,80.

Deutsche See-Fernsprech-Kabel in 25jähr. Entwicklung (1897 bis 1922). Herausgegeben vom Reichspostministerium. 32 S. m. viel. Abb.

Die Spezialstähle, ihre Geschichte, Eigenschaften, Behandlung und Herstellung. Von G. Mars. 2. neubearb. Auflage. Stuttgart 1922, Enke. 663 S. m. 225 Abb.

Sammlung Göschen Bd. 408: **Die landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte.** Von Karl Walther. 2. Bd. 2. Aufl. Berlin u. Leipzig 1923, W. de Gruyter & Co. 119 S. m. 76 Abb. Preis Gm. 1,25.

Sammlung Göschen Bd. 409: **Die landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte.** Von K. Walther. 3. Bd. 2. Aufl. Berlin u. Leipzig 1924, W. de Gruyter & Co. 135 S. m. 79 Abb. Preis Gm. 1,25.

Elektrofutter. Grundlagen der Frischhaltung von Saftfutter durch Elektrizität. Bau, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Elektro-Siloanlagen. Von H. Osten. Charlottenburg 1923, Rom-Verlag. 102 S. m. 28 Abb. Preis Gm. 2,50.

Automobiltechnische Bibliothek Bd. 12: **Grundlagen des Automobilbaues.** Von Prof. W. Ghittis, Petersburg. Berlin 1924, M. Krayn. 132 S. m. 98 Abb. Preis Gm. 10.

Untersuchung der Bewegungs- und Widerstandsmomente beim Motorwagen, ausgehend von der Bewegungsgleichung der Antriebsmaschine. Quellenverzeichnis.

Beiträge zur Verbesserung der Wiener Verkehrsverhältnisse. Von Ing. C. Hochenegg. Wien 1923, Wilhelm Frick Ges. m. b. H. 40 Seiten mit 4 Tafeln und 21 Abb. Preis Kr. 60 000.

Der Verfasser schlägt die Zusammenfassung der von Wien nach Norden führenden Vollbahnlinien, und zwar der Franz-Josefs-Bahn, der Nordwestbahn, der Nordlinie der St.-E.-G. und der Nordbahn in einem neuen, an der Heiligenstädterlände zu errichtenden Gruppenbahnhofe „Nord" vor.

Zur Elektrifikation der Schweizerbahnen: **II. Die Kraftwerke, Unterwerke und Fahrleitungen.** Sonderabdruck aus der Schweizerischen Techniker-Zeitung, Winterthur 1923. Nr. 27/28, 39/40 und 44. 72 S. mit vielen Abb.

Wasserstraßen-Jahrbuch 1923. Herausgegeben von Reg.-Rat Dr. R. Zeitler, München, und Generaldirektor Dr. eh. Ott, Köln. München 1923, R. Pflaum A.-G. 297 S. m. 54 Abb. Preis geb. Gm. 6.

Zum dritten Mal erscheint das Wasserstraßen-Jahrbuch; es umfaßt nunmehr, wie im vorigen Jahr angekündigt wurde, das ganze deutsche Stromgebiet, nämlich außer dem Rhein die Oder, Elbe und Donau. Die letzten Jahre waren für die deutsche Binnenschiffahrt Jahre des Kampfes, und wichtige Wasserstraßenbauten mußten zurückgestellt werden. Die Binnenschiffahrt, in ihrer Freiheit durch den außenpolitischen Druck eingeengt und durch Schiffsabgabe aufs äußerste bedroht, wurde zu einem Tarifkampf mit den wiedererstarkten deutschen Bahnen gezwungen. Der Inhalt des vorliegenden Jahrbuches ist in drei Hauptabschnitte gegliedert: Der erste behandelt Fragen des Wasserstraßenbaues, der zweite Betriebs- und Verkehrsfragen, der dritte die Verkehrspolitik einzelner Stromgebiete. Im Anhang sind die Elbschiffahrtsakte und die Transportversicherungsbedingungen für die Binnenschiffahrt aufgenommen.

Weltkarte der Kohlen- und Ölbunkerstationen. Von Dr. W. Schweer. Hamburg 1923, Friedrichsen & Co.

Die Karte enthält außer genauen Bezeichnungen der Kohlenfelder, Petroleumfelder, Ölbunkerstationen, Kohlenstationen, Ölfernleitungen, Eisenbahn- und Dampferlinien die neuesten Angaben über die Ausbeute und die Preisentwicklung von Petroleum und Kohle, ferner über die Entwicklung der Welttonnage und die Automobilerzeugung und ein genaues Verzeichnis der vorhandenen Kohlen- und Ölbunkerstationen.

Die Grundlagen der Nomographie. Von Ing. B. M. Konorski. Berlin 1923, Julius Springer. 86 S. mit 72 Abb. Preis Gm. 3.

Seit einer Reihe von Jahren wird die Nomographie in Ingenieurkreisen immer mehr beachtet, nachdem man ihren großen wirtschaftlichen Wert in Einzelfällen erkannt hat. Ein Nachteil ist die oft schwierige Herstellung der Nomogramme, die ausreichende Vorkenntnisse erfordert. Das vorliegende Werk hat den Vorzug, daß das Hauptgewicht auf die Beispiele gelegt ist. Die Frage, wie man im Einzelfall vorzugehen hat, wird durch eine Reihe von Tafeln beantwortet, denen man entnehmen kann, welche Skala in einem gerade vorliegenden Fall am Platz ist. Gebracht werden geradlinige und krummlinige Skalen.

Sammlung Göschen Bd. 877: **Aufgabensammlung zur Funktionentheorie.** Von K. Knopp. 1. T. Berlin und Leipzig 1923, W. de Gruyter & Co. 135 S. Preis Gm. 1,25.

Komplexe Zahlen, Punktmengen (Wege und Gebiete), Zahlenfolgen, Reihen mit konstanten Gliedern und Potenzreihen; Grenzwerte, Stetigkeit und Differenzierbarkeit von Funktionen einer komplexen Veränderlichen, elementare Funktionen; Integralbegriff und Cauchysche Integralsätze, gleichmäßige Konvergenz, Entwicklung in Potenzreihen und deren Verhalten auf dem Rande ihres Konvergenzkreises; konforme Abbildungen durch lineare Funktionen (stereographische Projektion) und einfache nicht-lineare Abbildungen.

Sammlung Göschen Bd. 57: **Zentral-Perspektive.** Von H. Freyberger. Neubearb. v. Prof. J. Vonderlinn. 2. Aufl. Berlin u. Leipzig 1923, W. de Gruyter & Co. 148 S. m. 132 Abb. Preis Gm. 1,25.

Kurzer Hinweis auf Geschichte und Zweck der Perspektive. Konstruktionen mit Benutzung von Grund- und Aufriß und nach der Fluchtpunktmethode. Zentralperspektive, Schattenperspektive, Spiegelperspektive.

Lustiges und Merkwürdiges von Zahlen und Formeln. Von Dr. W. Lietzmann. Breslau 1923, Ferdinand Hirt. 195 S. mit 107 Figuren im Text und 3 Taf.

Lebende Bücher. Herausgegeb. von A. Deckert. **Das Glas.** Von Dr. H. Schulz. München 1923. Kösel & Pustet. 180 S. m. 37 Abb. auf 6 Tafeln.

Schriften des berufskundlichen Ausschusses bei der Reichsarbeitsverwaltung, H. 3: **Die mittleren technischen Berufe.** Von Dipl.-Ing. A. Fröhlich. Mannheim, Berlin, Leipzig 1924, J. Bensheimer. 44 S. Preis Gm. 0,60.

Die Not der deutschen Wissenschaft und der geistigen Arbeiter. Von D. Dr. G. Schreiber. Leipzig 1923, Quelle & Meyer. 149 Seiten.

ABC-Welt-Adreßbuch, 1. Ausg. Berlin 1923, Archiv f. Welthandel A.-G.

Unter gleichmäßiger Berücksichtigung aller Länder enthält das vorliegende Werk Adressen von Bezugsquellen für 2287 Fachgebiete, worüber Stichwortverzeichnisse in 9 Sprachen beigefügt sind. Den Bezugsquellen jedes Landes geht ein ausführlicher Aufsatz über wirtschaftliche Verhältnisse eines Landes voraus.

Brockhaus, Handbuch des Wissens in vier Bänden. 6. Aufl., 4. Bd Leipzig 1923, F. A. Brockhaus. 748 S. mit über 10 000 Abb. und Karten im Text und vielen Tafeln und Karten. Preis Halbleinen Gz. 17, Halbpergament 24.

Der praktische Radioamateur. Das ABC des Radiosports zum praktischen Gebrauch für Jedermann. Von H. Günther (W. de Haas) und Dr. F. Fuchs. 8. Aufl. Stuttgart 1924, Franckhsche Verlagsanstalt. 292 S. m. 241 Abb. Preis Gm. 6,50.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 20 SONNABEND, 17. MAI 1924 BD. 68

INHALT

Kolloidwissenschaft und Technik.

Von Wolfgang Ostwald, Leipzig.

Kolloidik als Wissenschaft. — Verschiedene Arten von Kolloiden. — Änderung der Eigenschaften eines Körpers bei Zerteilung. — Physikalisches und chemisches Verhalten. — Einfluß dieser Änderungen auf technische Vorgänge.

Neue Zweige der Naturwissenschaften entstehen nach Gesetzen, von denen wir heute nicht viel mehr wissen als von den Regeln, nach denen ein Baum neue Äste treibt. Neue Erscheinungen und neue Gedanken werden vielleicht jeden Tag beschrieben. Nur selten kann man es aber einem Experiment oder einer Idee sofort ansehen, ob sie die Knospen sind zu ganz neuen Wissenschaften. Als die Curies fanden, daß einige Mineralien ein geladenes Elektroskop stärker entluden als die reinen Uransalze, haben sie wohl auch mit dem größten Optimismus sich nicht vorstellen können, welche Umwälzungen unserer allgemeinsten Auffassung vom Aufbau der Materie durch die Entwicklung und die Folgen dieser Beobachtung entstehen würden. Es sind keineswegs immer aufregende Versuche oder revolutionär anmutende Gedanken, aus denen sich plötzlich ein neuer Wissenschaftszweig entwickelt. Wiederholt zeigt die Wissenschaftsgeschichte, daß Jahrhunderte lang bekannte, aber unbeachtete Erscheinungen plötzlich in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses kommen und zum Ausgangspunkt umfangreicher und folgenreicher Entwicklungen werden. Man denke an den Bernstein, das „Elektron" der Griechen, und an den Dornröschenschlaf seiner Eigentümlichkeiten bis zur Erweckung durch Galvani, Volta und andere.

Zunächst kann man fragen, inwieweit man berechtigt ist, auch von dem hier zu behandelnden Gebiet, der Kolloidchemie — oder besser: der Kolloidwissenschaft oder Kolloidik — als von einem solchen neuen Wissenschaftszweig zu sprechen. Bekanntlich gibt es zuweilen Fanatiker irgendeiner wissenschaftlichen Idee, deren Begeisterung gelegentlich zu laut vernehmbar wird gegenüber dem inneren Wert des Verkündeten. Man könnte denken, ja man hört gelegentlich von den konservativeren Fachgenossen die Bemerkung, daß das unzweifelhaft weitverbreitete Interesse an diesem Wissensgebiete nur eine „Modesache" von vorübergehender Beschaffenheit wäre. Hierauf kann ich zunächst nur antworten, daß ich in den bald 20 Jahren, durch die ich die Entwicklung der Kolloidwissenschaft verfolge, ausschließlich eine Zunahme des Interesses an diesen Dingen gefunden habe. Es gibt heute mehr Interessenten für die Kolloidwissenschaft als jemals, und die Kurzlebigkeit einer „Modetheorie" ist zweifellos kein Kennzeichen der bisherigen Kolloidwissenschaft. Es gibt aber auch noch andre, zunächst mehr äußere Kennzeichen dafür, daß hier wirklich ein neues Gebiet wissenschaftlicher wie technischer Erkenntnis von großem Umfang im Entstehen ist.

Die Zahl kolloidwissenschaftlicher Veröffentlichungen beträgt viele Tausende. In den verschiedenartigsten Zeitschriften, Abhandlungen, Büchern trifft man dauernd und zunehmend mehr Hinweise auf „kolloidchemische Faktoren" usw. Es gibt Dutzende von Lehrbüchern der Kolloidchemie und ihrer Anwendungsgebiete, einige von ihnen in siebenter und achter Auflage. Die vor 17 Jahren gegründete „Kolloidzeitschrift" zählt zusammen mit ihrem Nebenorgan, den „Kolloidchemischen Beiheften", über 50 Bände. Es gibt heute eigene Laboratorien und Lehrstühle für Kolloidwissenschaft, und seit 1½ Jahren auch eine „Kolloid-Gesellschaft" mit bereits etwa 750 Mitgliedern. Auch im Ausland ist das Interesse an der Kolloidwissenschaft äußerst rege geworden. Um zwei Beispiele zu nennen, sei erwähnt, daß die technische Abteilung des amerikanischen Kriegsministeriums während des Krieges zwei besondere „Departments" eingerichtet hatte für „Colloids" und für „Dispersoids", und daß die englische Regierung während des Krieges drei „Reports" über theoretische und technische Kolloidchemie herausgab. Sowohl bei Stellenangeboten wie bei Stellengesuchen werden „Kolloidchemiker" gesucht oder empfohlen, und in Zeiten von Hochkonjunktur konnten nicht so viele junge Kolloidchemiker gefunden werden, als von der Industrie verlangt wurden. Dies sind alles Kennzeichen nicht einer speziellen wissenschaftlichen Liebhaberei einzelner Forscher, sondern Kennzeichen dafür, daß hier ein wirklich neuartiger und fruchtbarer Komplex von Erscheinungen, Gedanken, Gesichtspunkten, Methoden vorliegt.

Für die außerordentlich starke Entwicklung und das große Interesse, das gerade diesem neuen Zweig der Physik und Chemie zugewandt worden ist, lassen sich freilich besondere Gründe anführen. Der wichtigste besteht wohl darin, daß seit längerer Zeit kein naturwissenschaftlicher Zweig entsprossen ist, von dessen wissenschaftlichen und technischen Anwendungen man sich soviel verspricht wie gerade von der Kolloidwissenschaft. Die Kolloidwissenschaft wird gebraucht an den verschiedenartigsten Stellen in angewandter Wissenschaft und Technik. Die Erkenntnis dieser Eigentümlichkeit, die Hoffnung auf wissenschaftlichen und technischen Nutzen mit Hilfe der Kolloidwissenschaft ist zweifellos einer der Hauptgesichtspunkte für die starke Entwicklung dieser Wissenschaft. So ist es denn auch nicht verwunderlich, daß an der geschichtlichen Entwicklung der Kolloidwissenschaft alle möglichen Vertreter anderer Wissenschaften: Biologen, Mediziner, Agrikulturchemiker, aber auch Technologen wie Färberei- und Kautschukchemiker lebhaften und teilweise erheblichen Anteil genommen haben. Und auch heute wird kolloidwissenschaftliche Forschung keineswegs nur von den Vertretern der „reinen" Physik und Chemie ausgeübt; aus den verschiedenartigsten Nebengebieten und auch aus der Technik fließen die Beiträge zur weiteren Aufklärung der Kolloiderscheinungen.

Ehe wir die Bedeutung der Kolloidwissenschaft für die Technik näher kennzeichnen können, müssen wir uns kurz vergegenwärtigen, worin eigentlich das Forschungsgebiet der heutigen Kolloidwissenschaft besteht, warum m. a. W. Technik und Industrie gerade von diesem neuen Zweig der Physik und Chemie so viel Aufklärung und Nutzen erwarten.

Darwin hat einmal in schönem Stolze gesagt, er glaube etwas für die Naturwissenschaften geleistet zu haben, da er Neues an ganz gewöhnlichen, altbekannten Erscheinungen habe auffinden können. Auch die Kolloidwissenschaft hat ihre Wurzeln in sehr gewöhnlichen Erscheinungen, ja in den gewöhnlichsten Gebilden, die man in einem chemischen Laboratorium antrifft, nämlich in Niederschlägen und in Lösungen. Vor etwa 100 Jahren schon zeigten Benjamin Jeremias Richter und etwas später Francesco Selmi, daß es verschiedene Arten von Niederschlägen gibt, insbesondere grobe und feine. Die feinen Niederschläge liefen durch Filter, setzten sich monatelang nicht ab, zeigten zuweilen, wie etwa beim Gold, auffallende Farben, waren gelegentlich praktisch klar, trübten sich aber beim Zusatz anscheinend beliebiger Salze usw. Wie man aus dieser kurzen Charakteristik sieht, zeigten solche feinen Niederschläge eine ganze Reihe Ähnlichkeiten mit Lösungen und wurden daher auch gelegentlich „Pseudolösungen" genannt. Die zweite Hauptwurzel der Kolloidwissenschaft ging umgekehrt von gewöhnlichen oder „echten" Lösungen aus. Graham fand bei systematischer Untersuchung der physikalisch-chemischen Eigenschaften ein sehr verschiedenes Diffusionsvermögen bei verschiedenen gelösten Stoffen; Säuren, Basen, Salze wanderten schnell, Zucker schon langsamer, Lösungen von Kieselsäure, Eisenhydroxyd, vor allen Dingen aber Lösungen von Gummi, Eiweiß, Leim zeigten praktisch gar kein Diffusionsvermögen. Nach dem Typus „Leim" nannte dieser Forscher alle nicht diffundierenden Lösungen kolloide Lösungen. Es war Graham anscheinend nicht bewußt, daß sich unter seinen kolloiden Lösungen eine ganze Reihe jener Gebilde befand, die Selmi vor ihm schon als Pseudolösungen bezeichnet und gekennzeichnet hatte.

Die moderne Auffassung dessen, was man ein „Kolloid" nennt, schließt sich in vieler Hinsicht unmittelbar an diese alten Beobachtungen an, insofern nämlich, als sie die viererlei Erscheinungsgruppen: Niederschläge, Pseudolösungen, kolloide und echte Lösungen unter einem einheitlichen Gesichtspunkte betrachtet. Während in der Entwicklung der Kolloidwissenschaft immer wieder versucht wurde, scharfe Grenzen zwischen diesen Gebilden zu ziehen, oder prinzipielle Unterschiede zwischen ihnen aufzustellen, ist in der neueren Lehre von den dispersen Systemen, die ich seit etwa 1907 entwickelt habe, gerade der entgegengesetzte Weg eingeschlagen worden. Wir wissen jetzt, daß es vollkommen kontinuierliche Übergänge zwischen den genannten Gebilden gibt, und daß es willkürlich und nur praktisch durchführbar ist, z. B. zwischen groben Dispersionen (Niederschlägen), kolloiden Dispersionen (Pseudolösungen und kolloiden Lösungen) und molekulardispersen Systemen (echten Lösungen) zu unterscheiden. Alle diese Gebilde sind disperse Systeme oder Zerteilungen, nur der Grad ihrer Zerteilung ist verschieden. Je nach diesem Zerteilungsgrad kann ein und derselbe Stoff ganz verschiedenartige Gebilde ergeben. Man denke an metallisches Gold wie Goldstaub, der als Niederschlag undurchsichtig ist und schnell sedimentiert, an das rote oder blaue, durchsichtige, jahrelang stabile kolloide Gold und an das molekular zerteilte Goldchlorid in wässeriger Lösung, wobei zwischen kolloidem Gold und molekulardispersem Gold vermutlich als Zwischenglieder noch die sogenannten „komplexen Goldsalze" mit hohem Molekulargewicht stehen. Ein „kolloider" Stoff ist nichts anderes, nichts mehr und nichts weniger als ein Stoff in einer mittleren Zerteilung, und zwar ist diese Zerteilung so fein, daß man die einzelen Teilchen nicht mehr mit dem gewöhnlichen Mikroskop in ihrer Gestalt erkennen kann, anderseits in typischen Fällen noch rd. 100 mal größer als gewöhnliche Moleküle. Will man Zahlen nennen, so kann man sagen, daß kolloide Teilchen etwa einen Durchmesser von 1 bis 100 $\mu\mu$ (Millionstel Millimeter) haben.

Von den mancherlei Folgerungen, die sich aus dieser Auffassung ergeben, seien folgende genannt. Wenn es wahr ist, daß ein Kolloid nichts anderes ist als ein Stoff in besonderer mittlerer Zerteilung, dann sollte man, theoretisch wenigstens, vermuten, daß jeder beliebige Stoff in den kolloiden Zustand versetzt werden kann. Denn für jeden Stoff kann man sich theoretisch einen anderen Zustand denken, in dem er sich nicht spontan in Moleküle auflöst, in dem er im gewöhnlichen Sinne des Wortes „unlöslich" ist. Die experimentelle Entwicklung der Kolloidchemie hat die Richtigkeit dieses Schlusses bestätigt. Es gibt z. B. kolloides Kochsalz, nicht in Wasser, wohl aber in Benzol. Es gibt sogar Kochsalzgallerten, d. h. Zustandsformen, die besonders charakteristisch sind für Kolloide und ihnen nahestehende, etwas gröbere Zerteilungen. Auch Wasser kann in kolloidem Zustand erhalten werden, z. B. beim schnellen Abkühlen von mit Wasser gesättigtem Xylol. Ganz allgemein kann man mit dem russischen Forscher P. P. v. Weimarn sagen, daß der kolloide Zustand eine allgemein mögliche Zustandsform der Materie ist. Der kolloide Zustand ist eine ganz ähnliche Kombination besonderer physikalisch-chemischer Eigenschaften, wie etwa der kristallisierte Zustand, und von ganz entsprechend allgemeiner Verbreitung. Daher ist auch die Kolloidwissenschaft nicht etwa die Lehre von einer besonderen Art von Stoffen, wie etwa die Eiweißchemie, sondern vielmehr die Lehre von einem besonderen Zustand der Stoffe, der von beliebigen Stoffen angenommen werden kann. Dieser Zustand kann von zwei Seiten aus erreicht werden: Entweder geht man aus von groben Zerteilungen, die man mit Hilfe z. B. hoch wirksamer Mühlen (Kolloidmühlen) immer feiner zerteilt; dies sind die sogenannten Dispersionsmethoden. Oder aber man läßt umgekehrt Moleküle zu größeren Aggregaten, also zu Niederschlägen zusammentreten, bremst aber die Niederschlagbildung in dem Augenblick, in dem die Aggregate kolloide Dimensionen erreicht haben. Diese Methoden nennt man Kondensationsmethoden.

Ein anderes Ergebnis der Lehre von den dispersen Systemen ist folgendes: Wenn ein Kolloid nichts anderes ist als ein Stoff in mittlerer Zerteilung, so sollte es nicht nur flüssige, sondern auch gasförmige und feste Kolloide geben. Denn man kann nicht nur feste, flüssige und gasförmige Stoffe in einer Flüssigkeit zerteilen (Suspensionen, Emulsionen und Schäume), sondern man kann sich z. B. feste und flüssige Teilchen in Gasen verteilt denken (Rauch und Nebel), aber schließlich auch ähnliche Zerteilungen in einem festen Zerteilungsmittel. Von diesen letzteren festen Dispersionen und festen Kolloiden sind von ganz besonderer Wichtigkeit namentlich auch in technischer Beziehung die Zerteilungen fester Körper in anderen festen Medien. Hierher gehören Rubinglas, das ein festes Goldkolloid ist, gefärbte Edelsteine und Materialien aller Art, insbesondere stellen alle Metalllegierungen feste Zerteilungen allerverschiedensten Zerteilungsgrades, darunter auch kolloiden Zerteilungsgrades dar. Wir werden weiter unten hierauf noch zurückkommen. Man sieht, wie sich das Gebiet der neueren Kolloidwissenschaft erweitert. Nicht nur flüssige und gallertartige Gebilde, sondern Staub, Rauch, Nebel, Emulsionen, Schäume, Metallegierungen usw. gehören in das Erscheinungsgebiet der Zerteilungen und damit auch in das Gebiet der allgemeinen Kolloidwissenschaft.

Es sind gelegentlich Zweifel daran geäußert worden, wie es möglich ist, daß nur ein besonderer mittlerer Grad der Zerteilung genügt, um einem Stoff alle die Besonderheiten zu geben, die man Kolloideigenschaften nennt, und von denen einige schon zu Anfang des zweiten Abschnittes kurz erwähnt wurden. Vielleicht zeigt folgende einfache Betrachtung, wie weitgehend, ja wie radikal die Eigenschaften z. B. irgendeines festen Körpers, sagen wir eines Steines, sich mit zunehmender Zerteilung ändern.

Ein Stein „in Masse" fällt mit bekannter Geschwindigkeit wieder nach unten, wenn man ihn in die Höhe wirft. Derselbe Stein, zu Staub zermahlen, kann stundenlang schweben bleiben. Man kann nicht sagen, daß durch die feinere Zerteilung die Gesetze der Schwerkraft ungültig werden. Wohl aber findet man, daß die Gesetze der Schwere *wirkungslos* werden gegenüber anderen Gesetzen, die mit der großen Zerteilung in Wirksamkeit treten. Zunächst wird die Oberfläche und ihr entsprechender Betrag der Reibung durch das Zerkleinern gewaltig vermehrt. Ein Stein von nur 1 cm^3 Inhalt erhält bei Zerteilung bis zu kolloiden Teilchen mittlerer Größe (10 $\mu\mu$) eine Gesamtoberfläche von 600 m^2 (bei Würfelgestalt). Untersucht man Staub mikroskopisch, der Bequemlichkeit halber aufgeschwemmt in Wasser, so sieht man z. B. bei wagrechter Stellung des Mikroskops noch überraschendere Dinge. Unabhängig von jeder äußeren Energiezufuhr und von entsprechenden Strömungen bewegen sich schon mikroskopische Teilchen selbständig, und zwar in völlig unregelmäßiger Weise, darunter aber auch nach oben, also entgegengesetzt zur Richtung der Schwerkraft. Es ist dies die berühmte *Brownsche Bewegung*, der mikroskopische Summeneffekt der zahlreichen Stöße der Moleküle des Zerteilungsmittels. Jedes beliebige feste, flüssige oder gasförmige Teilchen zeigt diese Bewegung, vorausgesetzt, daß es nur klein genug ist und daß die Viskosität des Mediums die Bewegung zuläßt. Kleinere Teilchen führen viel heftigere Bewegungen aus als größere. Man kann also unmittelbar sehen, wie sich ein Stein mit zunehmender Zerteilung vom Gesetz der Schwere gleichsam freimacht.

Aber auch andere neuartige Erscheinungen treten auf bei zunehmender Zerteilung. Ein massiver Stein hat in der Regel keine bemerkbare *elektrische Ladung* gegenüber seiner Umgebung. Wird er zu Staub zerpulvert, so erweist sich eine solche Staubwolke ganz regelmäßig als geladen. Man macht bei der sogenannten elektrischen Staubreinigung zunächst von dieser natürlichen Ladung des Staubes, die eine Wanderung im elektrischen Felde zur Folge hat, Gebrauch. Unter Umständen, bei sehr hochdispersen kolloiden Stauben und bei guter Isolation, z. B.

sehr trockener kalter Luft, können diese elektrischen Ladungen so groß werden, daß sie sich unter Blitz und Explosionserscheinungen ausgleichen. Dies sind die gefürchteten Staubexplosionen, die ebenfalls bei den allerverschiedensten Stoffen auftreten, wenn sie nur fein genug zerteilt sind, bei Kohle, Mehl, Zucker usw. Solche Erscheinungen sind aber nicht einmal an das Vorhandensein fester geladener Teilchen geknüpft; das zeigen die natürlichen Gewitter, bei denen die Ladungen hochdisperser Wassertröpfchen unter gleichzeitiger Koagulation, dem Regen, ausgeglichen werden.

Auch die Optik eines festen Körpers ändert sich gewaltig mit zunehmender Zerteilung. Gold in Masse ist undurchsichtig, Goldblatt durchscheinend grün. Mit zunehmender Zerteilung bekommen wir blaues und rotes Gold, und gerade in diesem Falle konnte festgestellt werden, daß das feinste kolloidzerteilte Gold stetige Übergänge zeigt z. B. bei quantitativer spektrophotometrischer Untersuchung zu dem molekular zerteilten Goldsalz. Durchsichtige feste Körper, wie etwa Glas, werden bei jeder Zerteilung zunächst weiß, dann durchscheinend, und zwar mit dem gelbblauen Farbenspiel der sogenannten Opaleszenz. Sie zeigen gegen einen dunklen Hintergrund eine blaue, gegen die Lichtquelle gesehen eine gelbrote Färbung. Das großartigste Beispiel einer solchen, für kolloide Zerteilungen an sich farbloser Stoffe charakteristischen Opaleszenz finden wir am Himmel: Das Himmelsblau entspricht der Aufsichtsfarbe der aus farblosen Teilchen aller Art bestehenden „Himmelsdispersoide" gegenüber dem dunklen Weltenraum. Morgen- und Abendröte entsprechen der gelbroten Durchsichtsfarbe gegenüber der Sonne als Lichtquelle. Auch hier finden wir, daß ganz beliebige, chemisch vollkommen verschiedene Stoffe dieselbe charakteristische Kolloiderscheinung, die Opaleszenz zeigen, gleichgültig ob sie selbst oder ihr Zerteilungsmittel fest, flüssig oder gasförmig sind, vorausgesetzt nur, daß ihr Zerteilungs grad genügend hoch ist.

Eine andere Eigentümlichkeit zunehmender Zerteilung beispielsweise fester Körper zeigt sich in ihrem Verhalten zu Flüssigkeiten oder Gasen. Füllen wir einen Blumentopf mit grobem Kies, so läuft eine darauf gegossene Wassermenge praktisch vollständig durch. Füllen wir das Gefäß mit fein zermahlenem Sand und gießen Wasser darauf, so beobachten wir in der Regel zunächst die sogenannten Benetzungsschwierigkeiten. Fein zerteilte feste Körper sehr verschiedener Art halten mit ihrer ungeheuren Oberfläche Luft und andere Gase so außerordentlich fest, daß das Wasser diese Lufthülle nicht wegzudrängen vermag. Haben wir durch irgend einen Kunstgriff Benetzung erreicht, so wissen wir, daß ein solches feines Pulver beträchtliche Mengen Wasser festzuhalten vermag. Der Grund hierfür liegt nicht etwa darin, daß in dem Pulver (zum Beispiel in gewöhnlicher Gartenerde) nach unten hin abgeschlossene Hohlräume vorhanden sind, die das Wasser etwa wie in kleinen Schälchen festhalten. Jedes Pulver hat seine „Sättigungskapazität"; wird diese überschritten, so fließt das Wasser hindurch und zeigt somit an, daß zusammenhängende Hohlräume vorhanden sind. Noch deutlicher ergibt sich dies aus dem umgekehrten Versuch: Wasser kann in solchen Pulvern, aber auch in allen möglichen anderen Zerteilungen, wie z. B. in Fasern, von unten nach oben wandern. Man nennt dies bekanntlich den kapillaren Anstieg, und auch hier ergibt sich, daß ganz beliebige Gebilde solche Kapillarerscheinungen zeigen können, wenn sie nur fein genug zerteilt sind und nicht etwa von der Flüssigkeit verändert werden. Immerhin liegen hier Erscheinungen vor, bei denen außer dem Zerteilungsgrad individuelle Eigenschaften der Stoffe, das heißt noch nicht erkannte Gesetzmäßigkeiten, den Betrag und die Festigkeit der Flüssigkeitsbindung quantitativ stark beeinflussen. Jeder weiß, daß ein Metallpulver verhältnismäßig wenig, ein Eiweiß- oder Gelatinepulver dagegen sehr viel Wasser unter sogenannter Quellung oder Gallertbildung festzuhalten vermag. Man unterscheidet daher auch schwach und stark solvatisierte disperse Systeme oder auch, mit einem weniger glücklichen Namen: lyophobe oder lyophile Kolloide.

Aber auch ganz andere Eigenschaften, z. B. chemische Eigenschaften, ändern sich erheblich mit zunehmender Zerteilung. Für die chemische Reaktionsgeschwindigkeit in dispersen Systemen ist grundlegend das Wenzelsche Gesetz, wonach die Reaktionsgeschwindigkeit proportional der Größe der reagierenden Oberfläche ist. Schon oben wurde auf das gewaltige Oberflächenwachstum bei der Zerteilung hingewiesen. Nicht umsonst sind technisch wichtige Katalysatoren, wie Platin, Nickel, Eisenoxyd usw., Systeme von außerordentlich feiner Zerteilung und damit entsprechend großer Reaktionsfläche. Weniger bekannt ist, daß auch das chemische Gleichgewicht, z. B. die Löslichkeit (nicht nur die Lösungsgeschwindigkeit), mit zunehmender Zerteilung deutlich schwankt. Im Achatmörser zerriebener Gips ist z. B. um rd. 200 vH löslicher als gewöhnlicher grober Gips, und auch feinst gemahlenes, möglichst kolloides Rohphosphat würde eine echte höhere Löslichkeit als ein gewöhnliches grob disperses Phosphatpulver zeigen.

Derartige Beispiele für den maßgeblichen Einfluß des Zerteilungsgrades auf die Eigenschaften eines Gebildes könnten noch in großer Zahl gegeben werden. Überall stößt man auf zunächst quantitative, dann qualitative Unterschiede, wenn man Stoffe in Zuständen verschiedener Zerteilung untersucht. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß manche Eigenschaften bei zunehmender Zerteilung allmählich auftreten (oder allmählich verschwinden), ein Maximum (oder Minimum) erreichen, dann aber wieder bei Annäherung an die molekularen Zerteilungen verschwinden (oder wieder zum Vorschein kommen). Einige grobe Glasstücke sind durchsichtig, die Trübung nimmt zunächst mit zunehmender Zerteilung zu, erreicht ein Maximum, um dann wieder abzunehmen; eine molekulare Zerteilung von Glas wäre wieder durchsichtig. Ein Platinblech hat z. B. gegenüber Wasserstoffperoxyd nur geringe katalytische Wirkung, das fein zerteilte Platinmoor schon eine erhebliche. Platin in kolloider Zerteilung ist so außerordentlich wirksam, daß man seine katalytische Wirkung noch bei einem quantitativen Verhältnis von 1 Grammatom Platin in 70 Millionen Litern Wasserstoffperoxyd nachweisen kann. Hier im kolloiden Gebiet liegt das Maximum der Wirkung, denn molekular zerteiltes Platin, wie in Platinchloridlösung, hat nur eine ganz geringfügige katalytische Wirkung. Gerade in den mittleren, dem für den kolloiden Zustand charakteristischen Zerteilungsgebiete, finden sich derartige Maxima oder Minima besonders häufig und weisen damit in besonderem Maße auf den grundlegenden Einfluß des Zerteilungsgrades hin.

Zwangläufig treten die Eigentümlichkeiten des kolloiden Zustandes auf, wenn sich irgend ein Gebilde in diesem mittleren Zerteilungsgrade befindet. Überraschend ist es aber, festzustellen, wie außerordentlich häufig derartige Zerteilungen in Natur und Technik auftreten. Gebilde in kolloider oder ihr nahestehender Zerteilung gehören zu den alltäglichsten und allergewöhnlichsten Stoffen unserer Welt.

Es ist nun nicht immer leicht, unmittelbar die Teilchengröße irgend eines Gebildes, etwa einer Faser, eines Stärkekornes, eines Stückchens Zement oder Metall quantitativ festzustellen. Das Mikroskop führt uns, wie erwähnt, nur bis an die Grenze kolloider Zerteilung. Wir kennen aber mittelbare Kennzeichen des kolloiden Zustandes, die wir benutzen können, um sein Vorhandensein festzustellen. Stoffe in kolloider Zerteilung pflegen sich nicht (oder nur selten) unmittelbar zu Kristallen zu vereinigen. Das Kristallisieren ist gewissermaßen eine Spezialität des molekulardispersen Zustandes. Sogenannte „amorphe" Gebilde oder Stoffe gehören oft zu den kolloiden Zerteilungen. Eine weitere schon berührte Eigentümlichkeit besteht in der erstaunlich großen Fähigkeit der Wasserbindung gerade von Stoffen in kolloidem Zustande. Das Auftreten von Gallerten durch Quellung oder Gelatinierung usw. ist typisch für kolloide Zerteilungen. Die Fähigkeit kolloider Systeme, Flüssigkeiten zu binden, ist zuweilen so groß, daß manche Seifen mit weniger als 1 vT fester Substanz eine formbeständige Gallerte ergeben. Gleichzeitig beobachten wir an solchen Systemen — man denke an Kautschuk — besondere mechanische Eigenschaften, z. B. die höchsten bekannten Elastizitätswerte. So läßt sich an einer ganzen Reihe mittelbarer Kennzeichen das Vorhandensein einer kolloiden Zerteilung und damit die Zweckmäßigkeit des Heranziehens kolloidwissenschaftlicher Gesichtspunkte und Methoden feststellen.

Überblickt man an der Hand solcher Kennzeichen das Gebiet der Technik, so findet man, daß manche der ältesten Industrien, die wir überhaupt besitzen, vorwiegend mit Stoffen in kolloider Zerteilung arbeiten. Ähnlich wie alle Organismen und wir selbst vorwiegend aus Stoffen in kolloider Zerteilung und ihren Abscheidungsprodukten bestehen, ist der größte Teil der Nahrungsmittelindustrie eine Kolloidindustrie. Fleisch und Brot sind Eiweiß- und Stärkegallerte, Milch ist ein flüssiges disperses System, das grob zerteilte Stoffe (Fettröpfchen), kolloidzerteilte Stoffe (Kasein) und molekularzerteilte Stoffe (Zucker, Salze) enthält. Entsprechendes gilt für die Bekleidungsindustrie. Alle natürlichen oder künstlichen Textilfasern sind Gallerten. Eine große Anzahl von Farbstoffen, z. B. der Indigo, wird in kolloider Zerteilung angewandt. Haut und Leder sind Gallerten. Letzteres ist eine Gallerte, der durch die Gerbung mit oft ebenfalls kolloiden Gerbstoffen (Tannin, Chromoxydhydrat) besondere mechanische Eigenschaften und möglichst geringes Wasserbindungsvermögen erteilt worden ist. Alle Industrien, die mit Zellulose zu tun haben, einschließlich der Papierindustrie, arbeiten mit Geleen und oft noch mit anderen kolloidzerteilten Stoffen. Dasselbe gilt für

die Kautschukindustrie und die verwandten Industrien der plastischen Massen aller Art. Daß die pharmazeutische Industrie mit kolloiden Präparaten arbeitet, liegt nahe, wennschon man nicht der zu Werbezwecken verbreiteten Auffassung beipflichten kann, daß kolloide Präparate darum besonders wirksam sein müssen, weil der Organismus selbst vorwiegend aus Stoffen von kolloider Beschaffenheit besteht. Um ein Beispiel zu nennen, sei angeführt, daß das Alt-Salvarsan bei seiner Auflösung und Neutralisation sorgfältig auf den kolloiden Zustand eingestellt wurde.

Aber nicht nur in den verschiedensten Zweigen der organischen Großindustrie, von denen nur eine Auswahl genannt wurde, treffen wir Stoffe in kolloider Zerteilung. Die Industrie der Tone und hydraulischen Bindemittel arbeitet unzweifelhaft mit Gebilden, in denen Gallerten nicht nur auftreten, sondern auch für den Abbindungsvorgang eine wesentliche Rolle spielen, und zwar eine viel größere Rolle, als die vielfach erst sekundären Kristallisationsvorgänge. Noch wichtiger erscheinen aber die Beziehungen zwischen Metallurgie und Kolloidwissenschaft[1]). Nur kurz sei hier auf folgendes verwiesen: Jeder Ingenieur kennt den gewaltigen Einfluß der Korngröße der Gefügebestandteile einer Metallegierung auf ihre mechanischen, elektrischen, chemischen usw. Eigenschaften, jedem Ingenieur ist bekannt, daß für verschiedene technische Zwecke das Gefüge des Metalls eine ganz bestimmte „Struktur" haben muß. Gewiß besteht kein Zweifel darüber, daß die chemische Analyse in erster Linie eine Metalllegierung charakterisiert. Ebensosehr ist aber bekannt, daß die chemische Analyse hier wie im Fall der Tone, der hydraulischen Bindemittel, des Kautschuks usw. nicht ausreicht, um in allen Fällen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen technischer Bewertung und chemischer Zusammensetzung zu ergeben. Metalllegierungen können bei gleicher Elementaranalyse ganz verschiedene Eigenschaften haben, und umgekehrt können chemisch verschieden zusammengesetzte Legierungen für den gleichen technischen Zweck verwendet werden; man denke z. B. an die verschiedenen Lagermetalle.

Bei näherer Betrachtung findet man nun, daß ein und derselbe chemische Bestandteil (z. B. Eisen, Eisenkarbid oder Kohlenstoff) in Legierungen ganz ähnlich in verschiedenen Zerteilungsgraden auftreten kann, wie wir dies oben etwa am Gold erörtert haben. Die Gefügebestandteile oder sogenannten „Metarale" treten in allen möglichen Zerteilungsgraden auf. Reihen wie: Härtungskohle, Temperkohle, Graphit, oder auch Austenit, Martensit, Troostit, Osmondit, Sorbit, Perlit usw., entsprechen in vieler Hinsicht nichts anderm als Formen eines und desselben Stoffes oder Stoffpaares in verschiedenen Zerteilungsstadien. Bei den genannten Beispielen sind die letzten Glieder die grobdispersen, die erstgenannten Glieder die höchstdispersen, vermutlich molekularen Zerteilungen. Auch hier finden wir wieder stetige Übergänge und stetige Veränderungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften mit dem Zerteilungsgrad, und ebenfalls treten hier Maxima und Minima auf bei mittlerer, insbesondre kolloider Zerteilung. So scheint es z. B. sicher, daß der sogenannte Troostit eine kolloide Zerteilung von Eisenkarbid (Zementit) in metallischem Eisen (Ferrit) ist, während z. B. der Perlit seine gröberdisperse „Koagulationsform" darstellt. Bekanntlich ist aber gerade der Troostit charakteristisch für Stahle von höchster Elastizität, während diese Eigenschaft beim perlitischen Stahl wieder abfällt, bei den noch höher dispersen, z. B. austenitischen Stahlen aber durch die „Glashärte" ebenfalls wieder überkompensiert wird. Uhrfederstahl ist z. B. nach den Ergebnissen von C. Benedicks eine ausgesprochen kolloid zerteilte „troostitische" Legierung usw.

Die nähere Betrachtung metallurgischer Probleme von kolloidwissenschaftlichen Gesichtspunkten aus ergibt eine Fülle von Analogien und Erklärungsmöglichkeiten für den Zusammenhang zwischen Gefüge und physikalisch-chemischen Eigenschaften. Im besondern aber liefern diese Beziehungen Hilfsmittel, um aus der bisherigen, vorwiegend beschreibenden Gefügelehre eine wirklich kausale Wissenschaft von dem Einfluß des Gefüges auf die Eigenschaften des Metalls zu entwickeln. Ja, es ist von der Heranziehung dieser Gesichtspunkte vielleicht noch mehr Aufklärung zu erwarten als von der Gleichgewichtlehre und dem Phasentheorem, darum nämlich, weil technisch wertvolle Metallegierungen eigentlich niemals Gleichgewichte darstellen und weil das Phasentheorem nach der Definition seines Schöpfers W. Gibbs gar nicht auf feine Zerteilungen angewendet werden kann.

Es wäre ermüdend, die Aufzählung weiterer technischer Anwendungsgebiete der Kolloidwissenschaft fortzusetzen. Hält man sich vor Augen, daß die Kolloidwissenschaft nichts anderes ist als die Lehre von den Besonderheiten, die zwangläufig bei jedem beliebigen Stoff in mittlerer Zerteilung auftreten, so ergibt sich ganz von selbst die ungeheuer mannigfaltige Anwendbarkeit dieser Lehre. Vor allen Dingen ist dabei zu berücksichtigen, daß auch die nahe verwandten Gebilde wie Pulver, Schlämme, Rauche, Nebel, Schäume usw., desgleichen aber auch alle Verfahren zur Herstellung, Vernichtung und Trennung dieser Gebilde, also die Vorgänge des Mahlens, Zerkleinerns, Homogenisierens, des Schlämmens, Filtrierens, Sichtens, Entnebelns usw. von der neueren Kolloidwissenschaft zusammengefaßt und mit entsprechenden Erscheinungen an feineren Zerteilungen in Zusammenhang gebracht werden. Ganz allgemein ist die Herstellung, Erhaltung und Vernichtung oder die regelbare Einstellung eines gewünschten Zerteilungsgrades eines der Grundprobleme der allgemeineren Kolloidwissenschaft.

Nur auf einen wichtigen Grund sei noch hingewiesen, der es rechtfertigt, in der Anwendung der Kolloidwissenschaft auf technische Probleme gewiß nicht ein Allheilmittel, wohl aber einen Komplex besonders fruchtbarer Möglichkeiten zu sehen. In allen Industrien, auch in den typischen Kolloidindustrien, gibt es verschiedene Arten von Problemen, und alle Wissenschaftszweige, nicht nur ausgewählte, müssen für den Fortschritt herangezogen werden. Nun ist aber die Kolloidwissenschaft noch ein sehr junger Wissenschaftszweig. Erst seit weniger als zwei Jahrzehnten ist man sich dessen recht bewußt geworden, daß Stoffe in mittlerer kolloider Zerteilung besondere Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten zeigen. Es bedeutet dies, daß die andern Seiten der technischen Probleme, z. B. die analytischen, konstitutionschemischen, elektrochemischen usw. Fragen verhältnismäßig schon viel ausführlicher untersucht worden sind als die kolloidchemischen, da diese Wissenschaftszweige viel älter sind und früher herangezogen wurden. Die mehr kolloidchemischen Probleme sind vielfach übriggelassen worden, sie finden sich oft gleichsam ausgespart vor, da die ihnen zugeordnete Wissenschaft noch nicht bestand. Es kommt gewiß vor, daß in der Begeisterung technische Probleme als Kolloidprobleme bezeichnet werden, für die andere Faktoren maßgebend sind. Wer aber als Kolloidchemiker die Gelegenheit hat, selbst in die genannten Industrien hineinzusehen, der wird immer wieder überrascht sein darüber, wie gerade die kolloidchemischen Seiten der Probleme im Vergleich zu den andern fast unbearbeitet geblieben sind. Sehr oft wird in diesen Industrien nach „Rezepten" erfolgreich kolloidchemisch gearbeitet. Aber in vollem Maße gilt hier das Wort, daß diese Industrien „nicht wissen, was sie tun". Warum das Rezept so lautet, und wie es zu ändern ist, wenn neue Materialien oder neue Verhältnisse andere Arbeitsweisen notwendig machen, darüber ist wie bei allen Rezeptindustrien meist wenig bekannt. So sicher aber eine Rationalisierung dieser Industrien, eine Aufklärung darüber, worauf die bisher ausgeübten Prozesse eigentlich beruhen, einen Fortschritt bedeuten, so sicher ist es, daß die Kolloidwissenschaft hier oft in erster Linie die zuständige Wissenschaft ist. Schöne, mannigfaltige und technisch wichtige Arbeit bietet sich hier in Fülle. [A 154]

[1]) Wo. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen, 7. u. 8. Aufl. 1922 S. 170 u. f.; ferner Kolloidzeitschrift Bd. 19, (1916) S. 46.

Industrielle Entwicklung in China.

In den letzten Jahren hat sich, wie „Electrical Review" mitteilt, die Textilindustrie in China in ganz außerordentlichem Maße entwickelt. Während im Jahre 1902 etwa 20 Baumwollspinnereien mit rd. ½ Million Spindeln im Betriebe standen, hat sich ihre Zahl gegenwärtig rd. verdreifacht, wobei auch japanisches Kapital in zunehmendem Maße beteiligt ist. Ein kennzeichnendes Beispiel bildet eine neuzeitliche, vollständig elektrisch betriebene Kattunfabrik mit 20 000 Spindeln und 200 Webstühlen in Tientsin, deren Kraftanlage zwei Turbodynamos von 2000 kW Gesamtleistung enthält und die 1500 Arbeiter beschäftigt. Die Kesselanlage ist teils von englischen, teils von amerikanischen Firmen erbaut. Die Amerikaner entfalten angesichts der raschen Entwicklung maschineller Anlagen in China, wie der Berichter hervorhebt, ungeachtet der damit verbundenen Kosten eine überaus rege Werbetätigkeit, hinter der England vorläufig noch zurücksteht. Gegenwärtig gibt es in Tientsin und Shanghai rd. 70 Spinnereien mit 5000 bis 150 000 Spindeln, von denen nur ein kleiner Teil elektrisch betrieben wird. [M 319] Rb.

Berichtigung.

Im Aufsatz „Betriebserfahrungen mit Ölfeuerungsanlagen an Bord" in Z. Nr. 18 sind Abb. 2 auf S. 443 und Abb. 13 auf S. 445 auf den Kopf gestellt. [M 389]

Messen von Schwingungen und Drehmomenten mittels des Oszillographen.

Von Oberingenieur R. Elsässer, Charlottenburg.

Es werden kurz die Bedingungen für die richtige Aufzeichnung rasch veränderlicher Vorgänge erörtert und auf den Oszillographen als das dafür geeignetste Meßgerät hingewiesen. Dann wird eine einfache Vorrichtung nach Art der Kirchhoff-Wheatstoneschen Brücke beschrieben, mit der Längs- und Drehschwingungen und rasch wechselnde Drehmomente im Oszillographen aufgezeichnet und gemessen werden können. Aufnahmen der Bewegungen in einer elektrischen Stoßbohrmaschine und einer Schüttelrutsche zeigen die Anwendung für Längsschwingungen. Nach kurzer Beschreibung eines Torsionsdynamometers mit der Brücke als Meßvorrichtung werden damit aufgenommene Anlauf- und Bremsdiagramme eines Drehstrommotors mit sieben Käfigankern verschiedener Stabzahl als Beispiele der Aufzeichnung von Drehschwingungen und Drehmomenten gebracht. Dann wird die Anbringung einer Übersetzung an der Meßvorrichtung besprochen und ihre Verwendung zum Messen von Drehmomenten an Wellen mit einem Millivoltmeter erläutert. Schließlich werden für zwei Wellen von 5 cm und 80 cm Dmr. die Größenverhältnisse der Meßvorrichtung und deren Empfindlichkeit berechnet.

Die neuzeitliche Entwicklung der Technik verlangt für ihre Erzeugnisse bei größter Betriebsicherheit die größtmögliche Ausnutzung des Baustoffes. Hierzu muß man wissen, welche Beanspruchungen im Betriebe auftreten. Eine Ursache starker Beanspruchung sind die mechanischen Schwingungen, die nur in den seltensten Fällen genau berechenbar sind und infolge der Schwierigkeit ihrer Beobachtung und Messung viel zu wenig beachtet werden. Vergleichbare Beobachtungen sind wenig bekannt und teilweise von zweifelhaftem Werte; es bestehen auch nur wenige technisch brauchbare Verfahren, die ausnahmslos kostspielige Sonderausführungen von Meßgeräten erfordern.

Das nachstehend beschriebene Verfahren ist billig und genau, jedoch an das Vorhandensein eines Oszillographen[1]) gebunden. Da dieser aber infolge seiner vorzüglichen Eigenschaften für die Beobachtung und Aufzeichnung rasch veränderlicher Vorgänge schon jetzt weit verbreitet ist, kann es in vielen Fällen ohne nennenswerte Kosten angewendet werden; die eigentliche Meßeinrichtung läßt sich mit einfachsten Mitteln herstellen und führt dennoch zu Ergebnissen, die bis zu jeder technisch wünschenswerten Genauigkeit getrieben werden können.

Um rasch verlaufende Schwingungen einwandfrei aufzuzeichnen, ist folgendes erforderlich:

1) Durch die Meßeinrichtung darf das schwingende System nicht merkbar beeinflußt werden; es sind daher alle Meßeinrichtungen mit größeren Massen und mit Bewegungswiderständen, die die Dämpfung des schwingenden Systems vergrößern, unbrauchbar.

2) Die Schreibvorrichtung muß die auf sie übertragenen Ausschläge ohne merkliche Verzerrung[2]), also in ungefähr richtiger Größe und ohne größere Phasenverschiebung aufzeichnen.

Für die Genauigkeit eines Schreibapparates ist seine Eigenschwingungsdauer und seine Dämpfung maßgebend. Je geringer die Eigenschwingungsdauer (also je höher die Eigenschwingungszahl), desto genauer werden rasch verlaufende Vorgänge aufgezeichnet; denn über die von der aufzuzeichnenden Kraft herrührenden Ausschläge lagern sich die Eigenschwingungen des Schreibapparates, deren Amplitude sehr groß wird, wenn die Kreisfrequenz der erregenden Kraft mit der der Eigenschwingung ungefähr übereinstimmt. Hat der Schreibapparat eine nennenswerte Masse, große Eigenschwingungsdauer und fehlt auch noch jede Dämpfung, so werden, besonders bei Schwingungen mit steiler Wellenform, also großen Beschleunigungen, völlig falsche Kurven aufgezeichnet. Derartige Aufnahmen sind noch in neuerer Zeit veröffentlicht worden und haben eine Anzahl weiterer Arbeiten zur Folge gehabt, die zu falschen Ergebnissen gelangt sind, weil die benutzten Kurven infolge der Mängel des Schreibgerätes nicht das darstellen, was vorausgesetzt wurde.

Die Schwingungszahlen mechanischer Schwingungen können erhebliche Werte erreichen; treibt z. B. ein Elektromotor bei 3000 Uml./min eine Maschine über ein Ritzel mit 20 Zähnen an, das schlecht kämmt, so daß jeder Zahn einen Stoß verursacht, so entsteht eine Schwingungszahl von 1000 Per./s in der Welle des Motors und unter ungünstigen Umständen mit recht erheblicher Amplitude. Um derartige Schwingungen mit genügender Genauigkeit aufzeichnen zu können, ist ein Schreibgerät nötig, dessen Eigenschwingungszahl wesentlich höher liegt und einen so geringen Eigenverbrauch besitzt, daß das schwingende System nicht gedämpft wird. Mit mechanischen Schreibvorrichtungen sind diese Bedingungen nicht zu erfüllen. Dagegen besitzen wir im Oszillographen ein Gerät, das allen Anforderungen genügt und dabei ermöglicht, mehrere Vorgänge gleichzeitig übereinander aufzuzeichnen. Das eigentliche Meßgerät des Oszillographen, die sogenannte „Meßschleife", ist in dem am meisten verwendeten Apparat von Siemens & Halske zweifach oder dreifach enthalten[3]). Die normalen Meßschleifen werden hergestellt für die

Eigenschwingungszahlen	12 000	6000	3000	2000	Per./s
mit der Empfindlichkeit	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	A. für 1 mm Ausschlag.

Der größte zulässige Ausschlag beträgt 40 mm nach jeder Seite. Für Schwingungsvorgänge ist der Abrollapparat mit ablaufendem Papierstreifen besonders geeignet, mit dem Aufnahmen beliebiger Länge gemacht werden können.

Um Schwingungsvorgänge aufnehmen zu können, ist aber noch eine Vorrichtung erforderlich, die die Längsbewegungen oder Drehbewegungen in einfacher und eindeutiger Weise in elektrische Größen, die der Oszillograph aufzeichnen kann, umsetzt, ohne daß eine Störung des schwingenden Systems eintritt. Eine solche Vorrichtung ist mit der Kirchhoff-Weatstoneschen Brückenschaltung herzustellen[4]). In Abb. 1 sind *a-b* und *c-d* zwei gleichstarke Widerstandsdrähte, die in Kreisbogen ausgespannt und in den Endpunkten *a c* und *b d* verbunden und an eine äußere Stromquelle angeschlossen sind, die gestattet, den Strom in der Drahtverzweigung stets gleich zu halten. Die beiden Drahtbogen sind auf möglichst gleiche Länge abgemessen. *e* und *f* sind zwei Schleifkontakte, die isoliert voneinander starr auf einem Verbindungsstück so befestigt sind, daß sie bei Verdrehung auf den Drahtbogen schleifen. Sie sind über einen Vorschaltwiderstand mit der Meßschleife *s* des Oszillographen verbunden. In Abb. 2 ist dieselbe Anordung für geradlinige Bewegung aufgezeichnet. Hier ist parallel zu beiden Drahtstrecken *a-b* und *c-d* in geringem Abstand je ein zweiter Draht isoliert ausgespannt; die beiden Paralleldrähte sind mit der Meßschleife *s* verbunden. Die Schleifkontakte *e* und *f*, die je einen Meßdraht mit dem Paralleldraht verbinden, sind isoliert auf einem starren Verbindungsstück befestigt, haben aber keine Stromableitung. Die Wirkungsweise ist folgende:

Der Widerstand der Drahtstrecke ist verhältnisgleich ihrer Länge; ist der Strom konstant, so ist auch die Spannung verhältnisgleich der Drahtlänge, von der sie abgegriffen wird. Stehen die beiden Schleifkontakte genau in der Widerstandmitte der

[1]) Literaturnachweis s. am Schluß des Aufsatzes.
[2]) Einen gewissen Fehler der Amplitude und der Phase hat jede nicht masselose, freischwingende Schreibvorrichtung.
[3]) Neuerdings werden Apparate bis zu 6 Meßschleifen gebaut.
[4]) DRP Nr. 385 792 der SSW.

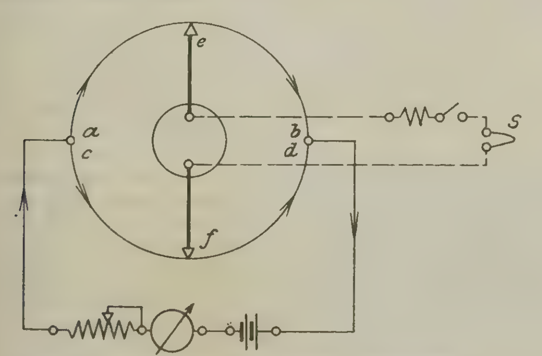


Abb. 1. Schaltung zum Messen von Verdrehungswinkeln.

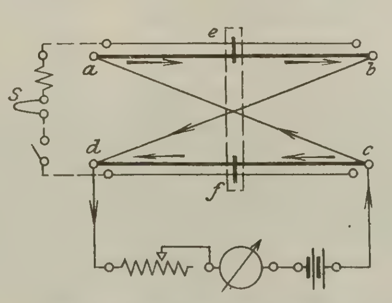


Abb. 2. Schaltung zum Messen von Längsbewegungen.

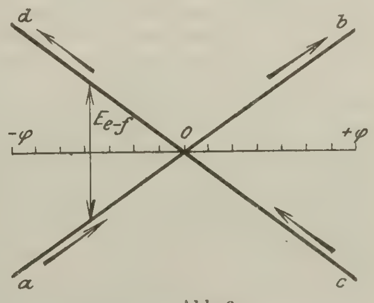


Abb. 3. Spannungsdiagramm

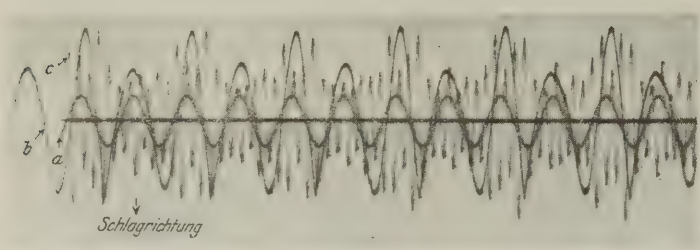


Abb. 4. Bohrer in Stein mit schwachem Vorschub.

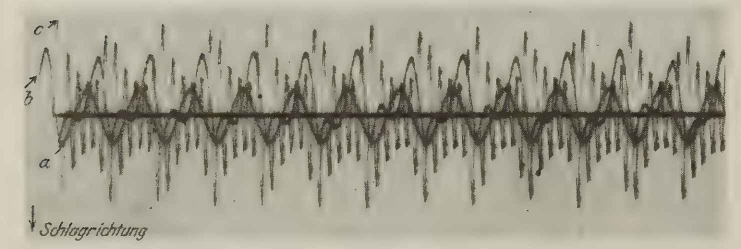


Abb. 5. Bohrer in Stein mit normalem Vorschub.

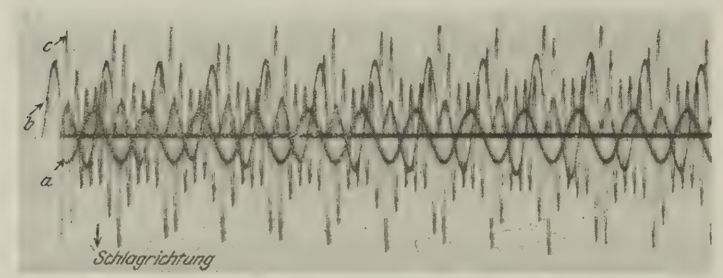


Abb. 6. Bohrer in Stein mit starkem Vorschub.

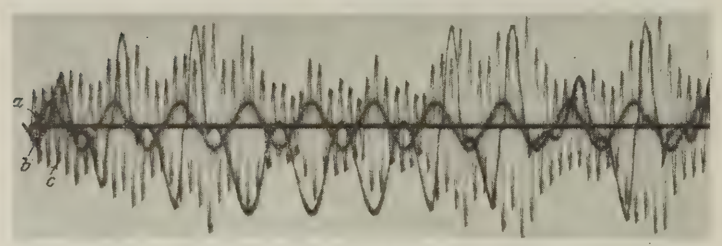
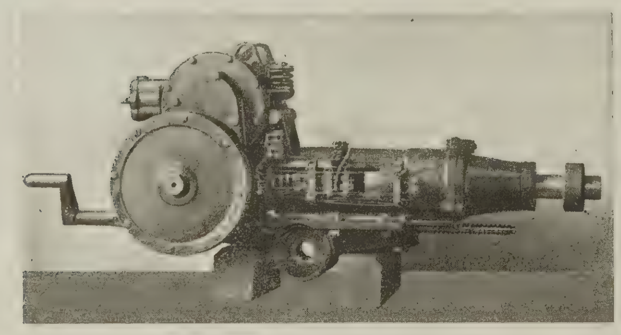


Abb. 7. Bohrer in Stein mit klemmendem Bohrer.

Abb. 4 bis 7. Diagramme einer Stoßbohrmaschine der Siemens-Schuckertwerke.


Abb. 8. Stoßbohrmaschine der Siemens-Schuckertwerke mit Meßeinrichtung.

beiden Drahtstrecken[1]), so ist der Brückenzweig e-f spannungslos, es fließt in ihm also auch kein Strom. Diese beiden Kontaktpunkte der Drähte seien als Punkte der Spannung null bezeichnet. Die Spannung ändert sich längs des Drahtes mit dem Abstande von den Punkten null nach Abb. 3, in der die wagerechte Linie $-S+S$ die Nullinie der Spannung und den Abstand vom Nullpunkt bezeichnet, während die schrägen Linien die Spannung jeder Stelle der Drahtstrecken gegen den Nullpunkt ergeben. Da bei Verschiebung der Schleifkontakte die durchlaufene Drahtstrecke verhältnisgleich der Verschiebung bzw. dem Verdrehungswinkel, der Strom in der Meßschleife aber verhältnisgleich der Spannung an den Punkten e und f ist, so ergibt der Ausschlag der Meßschleife ein genaues Maß der Verschiebung bzw. des Verdrehungswinkels; vorausgesetzt ist, daß der Strom in den Meßdrähten stets gleich bleibt, daß also auch der Strom im Brückenzweig klein ist gegen den in den Meßdrähten. Dies ist leicht einzuhalten, da der Strom in der Brücke je nach der verwendeten Meßschleife usw. im Höchstfalle 0,1 bis 0,003 A, der im Draht aber das 25 bis 100fache davon beträgt. Ist W der Widerstand für die Längeneinheit des Widerstandsdrahtes, D der Abstand der Kontaktstelle vom Nullpunkte, J der Strom in jedem Meßdraht, so ist die der Verschiebung um D entsprechende Spannung am Brückenzweig

$$e = 2\,W D J$$

und der Strom in der Meßschleife:

$$i_s = \frac{1}{\varrho} \cdot 2\,W D J,$$

wobei ϱ der Widerstand des Schleifkreises ist. Für einen Konstantandraht von 0,5 mm Dmr. beträgt der Widerstand für 1 mm Länge $2{,}44 \cdot 10^{-3}\,\Omega$; die Strombelastung kann 1 A betragen. Ist $\varrho = 5\,\Omega$, so wird

$$i_s = \frac{2}{5} \cdot 2{,}44 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 = 98 \cdot 10^{-5}\ \text{A}$$

bei 1 mm Verschiebung der Schleifkontakte. Mit einer Meßschleife von der Empfindlichkeit $7 \cdot 10^{-5}$ erhält man also für 1 mm Verschiebung im Oszillographen einen Ausschlag von 14 mm. Für einen Draht von 1 mm Dmr. sind die entsprechenden Werte: $W = 0{,}61 \cdot 10^{-3}\,\Omega$, und J etwa 3 A. Mit $\varrho = 5\,\Omega$ wird $i_s = 73{,}5 \cdot 10^{-5}$ A und der Ausschlag etwa 10,5 mm für 1 mm Verschiebung. Es lassen sich also sehr kleine Verdrehungswinkel damit messen; es sei z. B. der Meßdraht auf einem Kreisbogen von 200 mm Halbmesser ausgespannt; 1° Winkelverdrehung entspricht dann am Meßdraht einer Verschiebung der Schleifkontakte um 3,49 mm, die für die obigen Verhältnisse einen Ausschlag von 49 mm im Oszillographen ergeben. Da 0,5 mm noch sicher ablesbar sind, kann hier eine Winkelverdrehung von 0,01° noch sicher gemessen werden. Wie weiter unten gezeigt wird, kann auch eine Übersetzung zwischen Welle und Schleifkontakt eingeschaltet werden, wodurch die Empfindlichkeit noch bedeutend gesteigert wird. Bei der Kleinheit der auftretenden Spannung ist natürlich notwendig, daß die Schleifkontakte gut und gleichmäßig anliegen, was durch genügenden Druck und leichtes Einfetten gut erreichbar ist, und daß alle Kontakte im Schleifenkreis in gutem Zustand sind. Für größere Verschiebungen kann neben der Verwendung weniger empfindlicher Meßschleifen durch Vorschaltwiderstände im Schleifenkreis der Ausschlag der Meßschleife auf jedes gewünschte Maß verkleinert werden.

Die vom Oszillographen mit der beschriebenen Meßanordnung aufgezeichneten Kurven sind Diagramme des Weges oder der Verdrehung über die Zeit. Der Zeitmaßstab kann durch Veränderung der Umlaufzahl der Oszillographentrommel beliebig gewählt werden. In bestimmten Fällen könnte man auch unter Anwendung einer Vorrichtung, wie sie in dem Beschleunigungsmesser von Siemens & Halske enthalten ist, Beschleunigungskurven unmittelbar aufzeichnen. Bei der Schärfe und dem großen Maßstab der mit der gewöhnlichen Anordnung erhaltenen Weg-Zeit-Kurven bietet es aber in der Regel keine Schwierigkeit, die Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurven abzuleiten.

Die Anwendung der Schaltanordnung für Längsschwingungen ist sehr einfach. Die Meßdrähte befestigt man an dem einen der gegeneinanderschwingenden Teile, nötigenfalls ganz dicht nebeneinander. Die beiden Schleifkontakte werden isoliert vom andern Teil angebracht. Sie bestehen am besten aus dünnem aber hartem Blech. Notwendig ist eine Einrichtung, um die Nullpunkte einzustellen: Entweder müssen die Schleifkontakte einzeln verschiebbar sein, oder die stromdurchflossene Länge der Meßdrähte muß verändert werden können. Die ungefähre Gleichheit der Ströme in den beiden Zweigen kann man mit einem Millivoltmeter und einer Sonde, bestehend aus zwei Tastdrähten mit gleichbleibendem Abstand voneinander, leicht nachprüfen. Die Prüfung ist nicht notwendig, wenn beide Meßdrähte gleich stark und gleich lang sind und die Verbindungsstellen gut verlötet werden.

Abb. 4 bis 7 zeigen Aufnahmen mit der beschriebenen Einrichtung an einer Stoßbohrmaschine der Siemens-Schuckertwerke, Abb. 8. Diese besteht aus einem feststehenden Gehäuse mit Motor, der durch Zahnradübersetzung mittels Kurbelschleife einen Schlitten im Innern des Gehäuses antreibt. Im Schlitten sitzt zwischen zwei starken, vorgespannten Schraubenfedern der Stoßkolben mit Kolbenstange, die den Bohrer trägt und mit den Federn frei schwingen kann. Abb. 8 zeigt, wie einfach, billig und übersichtlich die ganze Anordnung ist. Die beiden Drahtbrücken aus Widerstandsdraht von 1 mm Dmr. und gleichen

[1]) Für den praktischen Gebrauch ist weder notwendig, daß beide Meßdrähte genau gleich lang sind, noch daß die Schleifkontakte genau in der Mitte stehen; es ist nur nötig, sie so einzustellen, daß im Ruhezustand der Brückenzweig stromlos ist, die Meßschleife also keinen Ausschlag gibt.

Paralleldrähten waren hintereinander geschaltet, so daß der gleiche Strom von 5 A (2,5 A in jedem Zweig) beide durchfloß. Alle Verbindungen waren verlötet, die Drähte der Querverbindungen der Brückenanordnungen so dick (Kupfer), daß ihr Widerstand sehr klein gegen den der Meßdrähte war; diese waren nachspannbar, so daß sie stets straff gehalten werden konnten. Jeder der Schleifkontakte aus Kupferblech war für sich verstellbar. Als Nullstellung des Schlittens war die Mitte des Schlittenweges (Kurbel steht senkrecht) angenommen. Aufgenommen ist: Der Weg des Schlittens gegen das Gehäuse, Kurve *a*, des Kolbens gegen den Schlitten, Kurve *b*, und der Strom in einer Zuleitung zum Drehstrommotor, Kurve *c*, die zugleich den Zeitmaßstab liefert. (Der Abstand zweier nebeneinander liegender Stromspitzen ist $^1/_{50}$ s.) Die Abb. 4, 5 und 6 sind Aufnahmen mit schwerem Bohrer, bei abgenommenem Schwungrad und erhöhter Schlagzahl, und zwar bei schwachem, normalem und starkem Vorschub. Die Ausschläge des Kolbens sind am größten bei schwachem, am kleinsten bei normalem Vorschub. Abb. 7 zeigt bei einer Maschine im gewöhnlichen Betriebzustand die Aufnahmen bei zeitweise festklemmendem Bohrer. Alle Aufnahmen sind beim gewöhnlichen Bohren in mittelhartem Stein gemacht; sie geben erst ein Bild der wirklichen Beanspruchung des Baustoffes, die sich in anderer Weise gar nicht ermitteln läßt. Die Maßstäbe bei allen Aufnahmen sind gleich, die der Kurven *a* aber verschieden von denen für *b*. Der Maßstab bei derartigen Aufnahmen wird in der Weise bestimmt, daß man bei ruhender Maschine die Teile um ein bestimmtes, genau meßbares Maß verschiebt und in diesem Zustand eine kurze Aufnahme macht.

Die folgenden Abbildungen 9 bis 11 sind Aufnahmen an einem Schüttelrutschen-Antrieb der Siemens-Schuckertwerke; dieser besteht aus einem Drehstrommotor (hier 3,5 kW), der mit Zahnradübersetzung eine Kurbel mit Kurbelstange antreibt; der Kreuzkopf schwingt um Zapfen, die in zwei an das Rutschenblech angenieteten Flanschen gelagert sind. Die Kurbelstange geht frei durch den Kreuzkopf hindurch und ist mit ihm beiderseits durch Schraubenfedern gekuppelt; deren Spannung kann durch Stellmuttern verändert werden. Die Rutsche, die auf Rollen in Kurvenbahnen geführt ist, kann also frei ausschwingen. Die Länge der Blechbahn war 40 m, das Eigengewicht der bewegten Teile 1240 kg, die aufgelegte Last 3000 kg. Aufgenommen ist:

1) die Bewegung senkrecht zum Erdboden, Kurve *a*, Abb. 10 und 11;

2) die Bewegung parallel zum Erdboden, Kurve *b*, Abb. 11; je ein Meßdraht war auf den Seiten der Rutsche an in den Boden gerammten ⊔-Eisen isoliert befestigt und frei ausgespannt; die Schleifkontakte waren an der Rutsche angebracht;

3) die Bewegung der Kurbelstange gegen das Rutschenblech, Kurve *c*; die drei Drahtsysteme aus Widerstanddraht von 1 mm Dmr. waren hintereinander geschaltet, jeder Draht führte 2,5 A;

4) die Bewegung des Fördergutes gegen die Rutsche Kurve *d*, Abb. 9; die Meßdrähte sind an einem auf dem Rutschenblech befestigten Holzgerüst ausgespannt, die Schleifkontakte auf einem größeren Stück Fördergut mit ebener Bodenfläche, das in die Mitte des übrigen Fördergutes eingelegt ist und mit ihm unter dem Holzgerüst durchwandert; schließlich

5) der Strom in einer Zuleitung zum Motor, der gleichzeitig den Zeitmaßstab ergibt, Kurve *J*.

Die von den Meßbrücken kommenden Leitungen zum Oszillographen waren in diesem Fall an drei Reihen von je sechs Quecksilbernäpfchen, die zugehörigen drei Stöpselpaare an die drei Meßschleifen angeschlossen; dies ermöglicht, innerhalb weniger Sekunden beim gleichen Arbeitszustand drei verschiedene Kurvenzusammenstellungen aufzunehmen. Abb. 9 zeigt eine Aufnahme des Statorstromes, der Bewegung der Rutsche gegen die Kurbelstange und des Fördergutes gegen das Rutschenblech. Bei Kurve *d* ruht das Gut relativ zur Rutsche, solange die Kurvenstrecken parallel zur Nullinie verlaufen; der Weg des Gutes ist verhältnisgleich dem senkrechten Abstande der parallelen Kurvenstücke. Bei dieser Aufnahme durchlaufen die Schleifkontakte die Meßdrähte, Abb. 2; von den Punkten *a* und *d* über die Nullstellung bis zu den Punkten *b* und *c*; die Kurve beginnt also mit dem größten negativen Ausschlag und endet mit dem größten positiven. Die Arbeitsweise, die auch aus Abb. 10 und 11 ersichtlich ist, ist folgende: Bei jeder Kurbelumdrehung wird das Rutschenblech mitsamt dem aufliegenden Gut zuerst nach vorwärts und, wenn nahezu die größte Geschwindigkeit erreicht ist, schnell nach aufwärts bewegt; sodann wird das Blech stark abgebremst und nach rückwärts und unten geführt, während das mit dem Blech beschleunigte Gut infolge der Massenträgheit seine Bewegungsrichtung und Höhenlage noch eine Zeitlang beibehält. Sobald das Gut mit dem Blech wieder in Berührung kommt, bremst es dessen Bewegung stark ab — daher die schwache Einsattelung der Kurve *c* — und wird erneut mitgenommen. Abb. 10 zeigt die Bewegung des Bleches senkrecht gegen den Boden, Kurve *a*, der Kurbelstange gegen das Blech, Kurve *c*, und die Stromaufnahmen des Motors, Kurve *J*; bei Abb. 11 ist an Stelle des Stromes die Bewegung des Bleches parallel zum Boden aufgezeichnet. Die drei Aufnahmen gehören zu verschiedenen Belastungen und Federspannungen, sind daher nicht ohne weiteres vergleichbar; sie sind einer großen Reihe von Aufnahmen entnommen. Bemerkenswert ist sowohl bei diesen Aufnahmen als bei denen an der Stoßbohrmaschine, daß trotz der heftigsten Stöße und Erschütterungen, die bei diesen Betrieben notwendigerweise auftreten, die Kurven vollkommen klar und sauber gezeichnet sind.

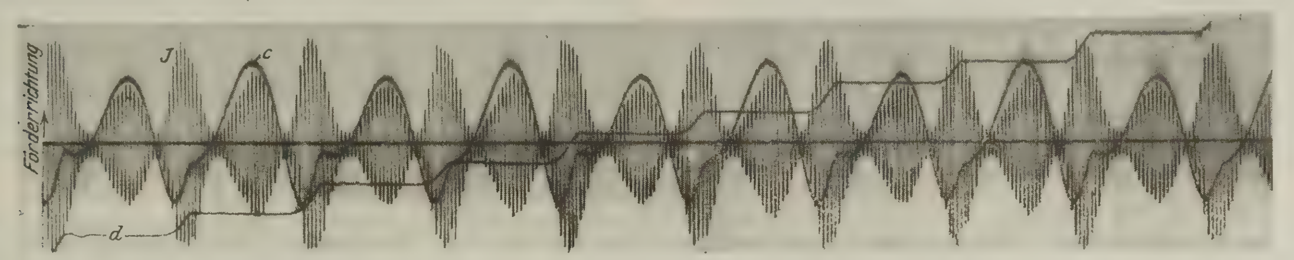


Abb. 9. Schüttelrutsche. Weg der Kurbelstange *c* und des Fördergurtes *d* gegen das Rutschenblech. Motorstrom

Zur Aufnahme von **Drehschwingungen** sind zwei Verfahren möglich: entweder die Messung der Relativgeschwindigkeit **eines** Querschnittes der Welle gegen eine mit gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit umlaufende Masse oder die Messung der Verdrehung **zweier** um eine gewisse Strecke voneinander entfernter Querschnitte des elastischen Übertragungselements gegeneinander. Das Brückenverfahren ist für beide Verfahren brauchbar. Für die Messung der Verdrehung zweier Querschnitte werden die auf Kreisbogen angebrachten Meßdrähte mit dem einen Querschnitt, die Schleifkontakte der Brücke mit dem anderen verbunden. Bei Wellen ist hierzu notwendig, daß die Verdrehung des einen Querschnittes durch ein starres, übergeschobenes und nur in dieser Querschnittebene befestigtes Rohr an die andere Querschnittebene herangebracht wird, wie dies z. B. schon **Föttinger**[1]) beschrieben hat; ein auf dem freien Ende des Rohres starr und isoliert befestigter Träger enthält die Schleifkontakte, leichte messerförmige Metallplättchen, die in radialer Richtung leicht beweglich, dagegen in der Umfangsrichtung — um toten Gang zu vermeiden — unbeweglich sein müssen; sie werden durch Federn oder kleine Fliehgewichte auf die Meßdrähte gepreßt. Am zweiten Querschnitt der Welle ist der Träger für die Meßdrähte befestigt. Da in der Regel nur kleine Bogenstrecken von den Schleifkontakten bestrichen werden, genügt

[1]) Forschungsarbeiten Heft 25.

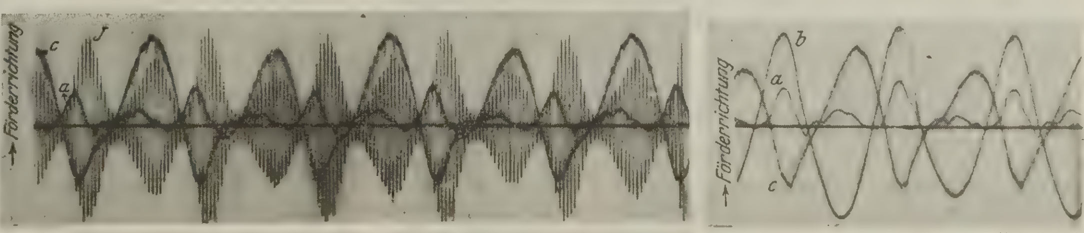


Abb. 10 und 11. Schüttelrutsche. Weg der Rutsche senkrecht zum Boden *a*, parallel zum Boden *b*, gegen die Kurbelstange *c*. Motorstrom *J*.

ein schmaler, flacher Träger, der am kreisförmigen Umfang leichte Rillen zur Aufnahme der Widerstanddrähte enthält; er kann aus Isolierstoffen bestehen (Holz, Hartgummi, Fiber usw.) oder aus Metall; in diesem Falle müssen die Meßdrähte, die straff aufgespannt werden müssen, eine isolierende Unterlage, etwa aus dünnem Glimmer, erhalten. Da nur sehr kleine Spannungen von höchstens 2 V auftreten, macht die Isolierung keine Schwierigkeiten. Schließlich müssen zur Zuführung des Stromes für die Meßdrähte und zur Abführung des Brückenstromes je zwei isolierte Schleifringe angebracht werden, von denen je zwei mit den Knotenpunkten $a\,c$ und $b\,d$ in Abb. 1, die beiden anderen mit den Schleifkontakten verbunden werden. Die Schleifringe können an einer beliebigen Stelle der Welle angebracht werden. Da nur ganz kleine Verdrehungen in Frage kommen, ist die elektrische Verbindung der Schleifringe mit den Meßstellen leicht und betriebsicher mit einfachsten Mitteln auszuführen. Ist ein stark elastisches Kupplungselement vorhanden, so wird die Anbringung der Meßanordnung noch wesentlich einfacher. Zur Einstellung der genauen Nullage müssen die Träger als Ganzes oder einzeln um ein geringes verstellbar sein.

Abb. 12. Torsionsdynamometer.

Die Ausführung der Einrichtung läßt sich ebenfalls mit sehr einfachen Mitteln und unter Verwendung ganz unbedeutender Massen betriebsicher und für große Meßgenauigkeit herstellen. Die Reibung der Schleifkontakte auf den runden Meßdrähten ist verschwindend gering, selbst bei verhältnismäßig starkem Druck. Auch die Reibung der Bürsten auf den Schleifringen kann sehr klein gehalten werden, so daß keine nennenswerte Dämpfung in das System gebracht wird. Andererseits wäre es leicht, wenn ein Bedürfnis vorhanden, eine Dämpfung beliebiger Größe zwischen die beiden gegeneinanderschwingenden Teile einzuschalten. Ferner läßt sich in sehr einfacher Weise eine hohe Übersetzung der Winkelverdrehung erreichen, wie weiter unten näher ausgeführt wird. Da die Verdrehung zweier Querschnitte einer Welle oder eines elastischen Übertragungselementes anderer Art dem übertragenen Drehmoment verhältnisgleich ist, können mit dieser Meßanordnung sowohl gleichbleibende als veränderliche Drehmomente gemessen und aufgezeichnet werden.

Abb. 12 zeigt den Längsschnitt einer als Torsions-Dynamometer ausgebildeten Einrichtung dieser Art ohne Übersetzung, mit dem die folgenden Abb. 13 bis 19 aufgenommen wurden. Der ganze Apparat und besonders das Übertragungsrohr ist sehr kräftig ausgebildet, damit starke Stöße aufgenommen werden können, ohne daß die Drehfeder überlastet wird. Beim Überschreiten der zulässigen Verdrehung stoßen klauenartige Ansätze am freien Ende des Rohres e an entsprechende Ansätze an einem auswechselbaren Ring r, der mit dem Träger der Meßdrähte verschraubt ist, und schalten dadurch die Drehfeder aus. a_1 und a_2 sind Spannfutter zur Kupplung mit den beiden zu verbindenden Wellenzapfen; b_1 und b_2 Flacheisenstücke, die in die beiden Spannfutter eingepaßt sind und in denen die Drehfeder d mit Keilansätzen unbeweglich sitzt. An dem einen Flacheisenstück ist der Träger für die Meßdrähte, eine Holzscheibe c von 350 mm Dmr., befestigt. Das Übertragungsrohr e trägt auf einer Papierunterlage f mit Klemmenschellen die beiden Träger g der Schleifkontakte und die Schleifringe o für die Zuleitung des Brückenstromes zum Oszillographen. Auf dem zweiten Spannfutter sitzen ebenfalls auf einer Papierunterlage h, die Schleifringe i für die Stromzuleitung. In die Träger g aus Messingrohr sind am oberen Ende massive Stücke eingelötet und aufgeschlitzt; in den Schlitzen bewegen sich ohne Spiel die Kontaktmesser k aus Kupfer, in die dünne Bleche aus dem gleichen Material wie die Widerstandsdrähte als eigentliche Schleifkontakte eingelötet sind. Zur besseren elektrischen Verbindung der Kontaktmesser mit den Trägern sind beide durch angelötete biegsame Kupferlitzen verbunden. Das Kugellager l dient zur zentrischen Führung beider Teile. Die Drehfeder ist zwischen den Keilansätzen 200 mm lang und hat bei den unten beschriebenen Messungen einen Durchmesser von 10 mm. Sie besteht aus Spezialfederstahl von 14500 kg/cm² Bruchfestigkeit und ist federhart. Bei den Versuchen wurde sie mit Drehmomenten von 10 mkg beansprucht, ohne daß sich die Nullstellung jemals änderte. Das Trägheitsmoment der Scheibenseite einschließlich einer damit gekuppelten Welle von 3 cm Dmr. und 45 cm Länge samt 2 Kugellagern beträgt 0,122 cmkgs², das der linken Seite 0,025 cmkgs². Die Eigenschwingungszahl der Drehfeder mit der Scheibenseite des Apparates und der gekuppelten Welle berechnet sich zu 29,6 Per./s; dies ergibt auch die Messung Abb. 13.

Zur Bestimmung der Eigenschwingungszahl wurde die eine Seite starr eingespannt, die andere Seite mit der gekuppelten Welle verdreht und mittels einer starken Schnur, die durch ein Loch in der Meßscheibe gezogen war, festgehalten. Die Schnur wurde plötzlich durchschnitten und die entsprechende Schwingung zugleich mit der Spannungswelle eines Wechselstromes von 50 Per./s als Zeitmaß aufgenommen. Hier wie bei allen folgenden Aufnahmen ist eine Meßschleife mit der Empfindlichkeit $4 \cdot 10^{-4}$ benutzt. Die Abbildungen 14 bis 19 geben einige Aufnahmen mit dem Apparat wieder, aus denen das exakte Arbeiten zu ersehen ist und die einige beachtenswerte Vorgänge zeigen. Alle Aufnahmen stammen von demselben Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer für 2,2 kW bei 1420 Uml./min mit 36 Statornuten, in welchen Läufer verschiedener Stabzahl aber gleicher Kupfermenge eingesetzt wurden. Belastet war der Motor im Anlauf nur durch das Moment der Massenbeschleunigung einer Schwungmasse (Bremsscheibe, Bremshebelarm 0,225 m, Trägheitsmoment = 6,68 cmkgs²), die auf das freie Ende der Welle von 3 cm Dmr. aufgesetzt wurde. Nach Erreichen der vollen Drehzahl wurde ein Bremsseil aufgeworfen und der Motor bis zum Stillstand belastet. Aus dem festgebremsten Zustand erfolgte dann der Wiederanlauf. Die Kurven zeigen also das Anfahren aus dem Stillstand bei ungespannter Wellenfeder bis zum Leerlauf, dann die allmähliche Bremsung bis zum Stillstand, dann den Wiederanlauf bei vorgespannter Feder. Da bei den üblichen Antrieben durch elastische Zwischenglieder (Riemen, Zahnräder, Kupplungen usw.) ähnliche Elastizitätsverhältnisse auftreten wie hier, werden die Erscheinungen, die sich bei diesen Aufnahmen zeigten, auch im praktischen Betrieb auftreten. Bei den Abbildungen ist die mittlere Linie die Nullinie für alle drei Kurven des Bildes; die oberhalb dieser verlaufende Kurve gibt die Ausschläge des Torsions-Dynamometers, und da diese dem übertragenen Drehmoment verhältnisgleich sind, stellt die obere Linie die Drehmomente dar, die die Welle durchlaufen. Dem vom Motor herrührenden veränderlichen Moment ist wie bei allen Dynamometern mit Masse und Elastizität die Eigenschwingung des Massensystems übergelagert, die ein pulsierendes Drehmoment darstellt. Die Drehmomentenkurve ist also, wenigstens in ihren rasch veränderlichen Teilen, nicht die Momentenkurve des Motors, wie vielfach fälschlich angenommen wurde; es ist die Schwingungskurve des Systems: Rotor-Welle-angetriebene Masse, bestehend aus Eigenschwingung und erzwungener Schwingung; nur die erzwungene Schwingung rührt vom Motor her.

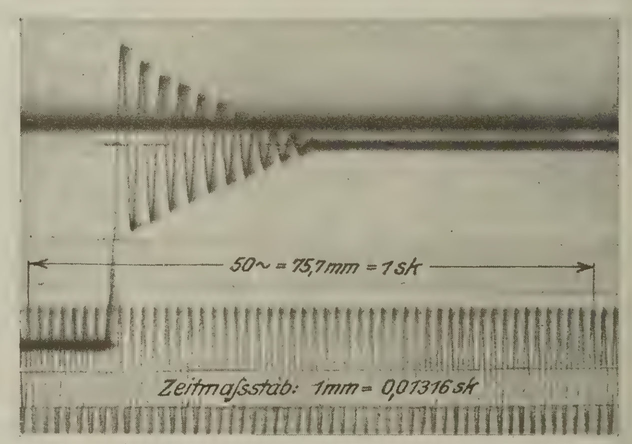


Abb. 13. Messung mit dem Torsionsdynamometer. Eigenschwingung der Scheibenseite.

Die unterhalb der Nullinie verlaufende Kurve gibt die Winkelgeschwindigkeit des Läufers, oder da $\omega = \frac{\pi n}{30}$, die Drehzahl an. Sie wird erhalten als die Spannungslinie einer kleinen, fremd erregten Gleichstromdynamo, deren Anker freitragend (ohne Lager) mit der Welle des Drehstrommotors starr

verschraubt ist. Die dritte Kurve, die Schwingungen beiderseits der Nullinie verzeichnet, ist der Strom in einer Zuleitung zum Motor.

Abb. 14 wurde mit einem Läufer A erhalten. Der dicke Strich der Momentenkurve rührt nicht etwa von einem breiten Lichtfleck her, sondern entsteht durch eine übergelagerte Schwingung sehr kleiner Amplitude aber hoher Frequenz. Infolge der hohen Frequenz heult der Motor mit diesem Läufer. Im übrigen ist die Kurve, abgesehen von der Einschaltstoßwelle vollkommen schwingungfrei und verläuft stetig.

Abb. 15 ist die Kurve eines anderen Läufers B; auch diese Kurve hat eine leichte Welle — aber von erheblich kleinerer Frequenz — übergelagert und eine schwache Unstetigkeit bei etwa $^1/_7$ der synchronen Drehzahl. Im festgebremsten Zustand (Bremsscheibe steht still) ist das Moment an der Drehfeder nicht gleichbleibend, sondern es entsteht eine rein harmonische Schwingung mit der Amplitude gleich dem 1,6 fachen des **größten** Motormoments und einer Schwingungszahl von 16,2 Per./s[1]). Die Ungleichheiten in der Wellenhöhe rühren daher, daß die Festbremsung durch Anspannung des Bremsseiles mit der Hand erfolgte und daher die Bremskraft nicht gleich blieb. Diese

[1]) Die Eigenschwingungszahl des ungedämpften Systems berechnet sich bei eingespannter Bremsscheibe zu 18 Per./s.

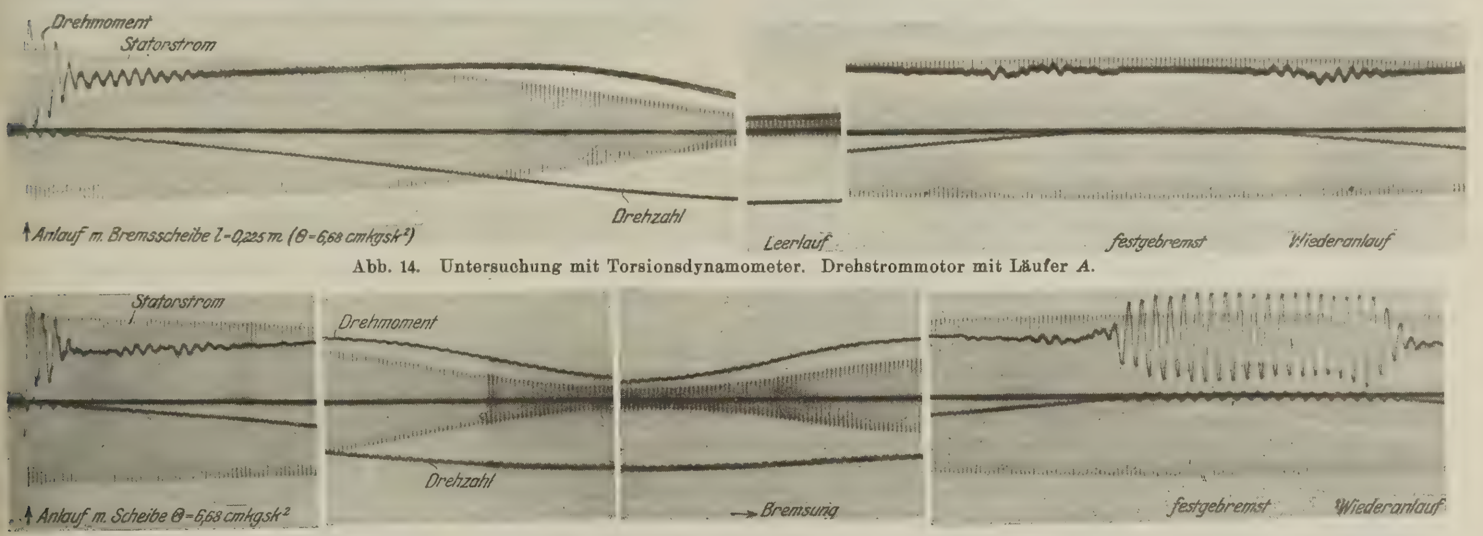


Abb. 14. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Läufer A.

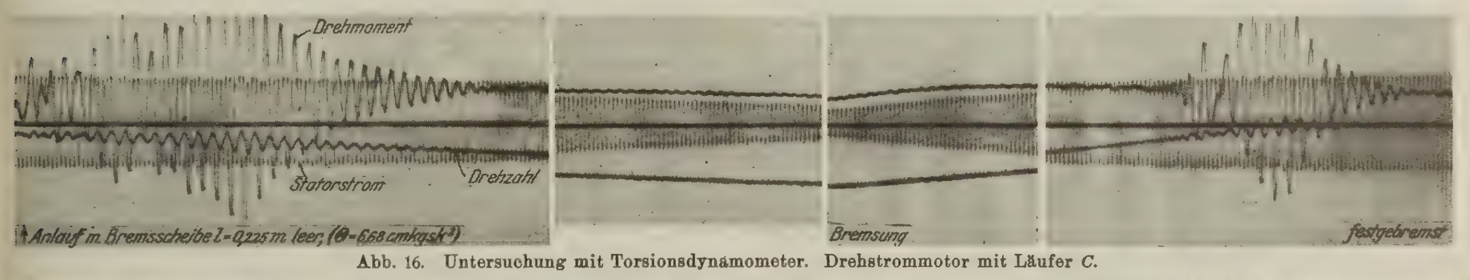


Abb. 15. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Läufer B.

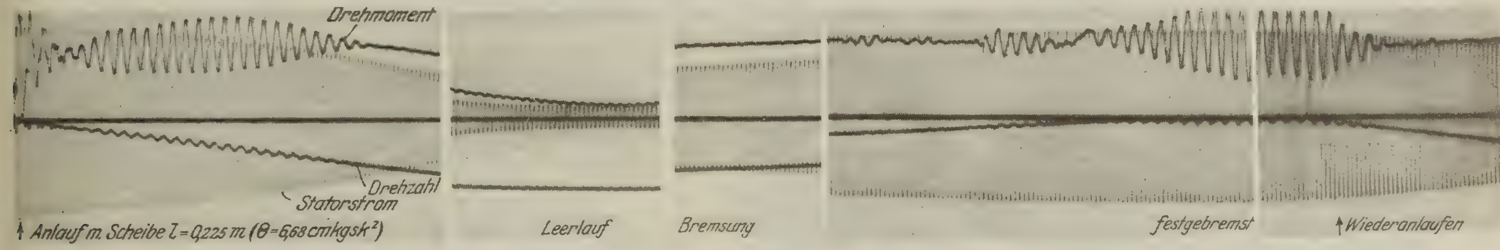


Abb. 16. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Läufer C.

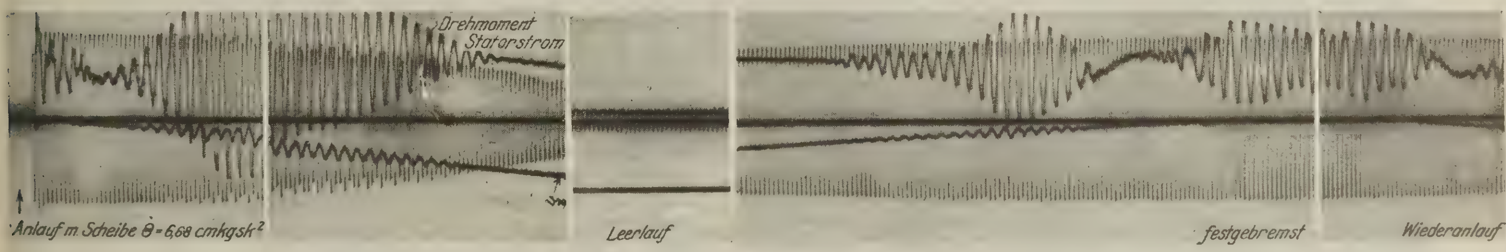


Abb. 17. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Läufer besonderer Konstruktion.

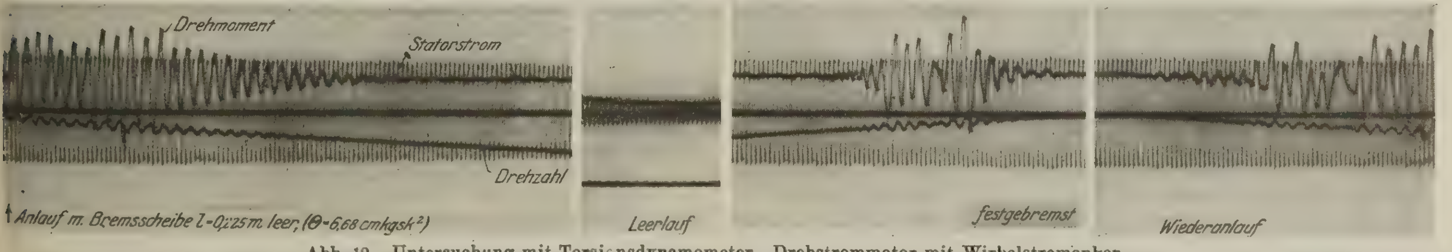


Abb. 18. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Läufer D.

Abb. 19. Untersuchung mit Torsionsdynamometer. Drehstrommotor mit Wirbelstromanker.

Schwingungen können im festgebremsten Zustande beliebig lange und bei unveränderlichem Bremsmoment vollständig gleichmäßig aufrecht erhalten werden. Es dürfte wohl sehr wenig bekannt sein, daß ein Motor von der Gleichmäßigkeit der Umfangskraft wie der Drehstrommotor beim Arbeiten über ein elastisches Übertragungsglied eine derartige Schwingung ergibt, wenn das Bremsmoment größer ist als das Drehmoment des Motors. Da die hierbei auftretenden Kräfte nahezu den doppelten Wert des Höchstmomentes des Motors erreichen, hat diese Erscheinung eine erhebliche praktische Bedeutung für die mögliche Beanspruchung des Materials. Dieselbe Wirkung des elastischen Übertragungsmittels tritt beim Anlauf des Motors auf, wie die Abbildungen zeigen, und ermöglichen dadurch die Überwindung von Anfahrwiderständen, die der Motor sonst nicht bewältigen könnte.

Abb. 16 zeigt die Kurven eines dritten Läufers C; sie wurden bei etwa $^3/_4$ der Normalspannung des Motors aufgenommen, während die übrigen Abbildungen bei der Sollspannung erhalten wurden. Die Stabzahl von C wird wegen ruhigen Laufes sehr viel verwendet. Sie ergibt im ersten Drittel des Drehzahlbereiches außerordentlich heftige Schwingungen (bei voller Spannung sind diese natürlich noch stärker ausgeprägt), deren Ursache starke Unstetigkeiten in der Drehmomentkurve des Motors in diesem Bereich sind. Bei voller Klemmenspannung erreichen die Ausschläge Werte, die mehr als 10 mkg, also etwa das 7fache des normalen Drehmomentes ausmachen. Selbstverständlich treten derartig starke Schwingungen nur auf, wenn das Übertragungsmittel genügend elastisch ist.

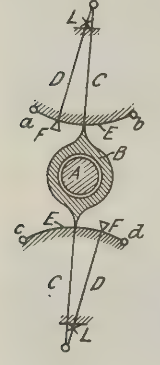


Abb. 20. Verdrehungsmesser mit Übersetzung.

Abb 17 ist mit einem Läufer besonderer Konstruktion aufgenommen. Er ergibt geringe Schwingungen, also sehr kleine Unstetigkeiten der Drehmomentkurve und ein sehr hohes Drehmoment.

Abb. 18 zeigt die Kurven eines weiteren Läufers, der ebenfalls starke Schwingungen aufweist, während Abb. 19 mit einem sogenannten Wirbelstromanker erhalten ist, der einen kleinen Anlaufstrom, abernatürlich auch kleines Anlaufmoment ergibt. Die Schwingungen sind von derselben Art wie beim gewöhnlichen Läufer (gleicher Stabzahl, Abb.16), aber viel kleiner. Charakteristisch ist, daß die Läufer mit heftigen Schwingungen geräuschlos laufen, während die mit glatten Kurven heulen. Die Aufnahmen zeigen ferner, daß einige Stabzahlen einen stetigen sanften Anlauf ergeben während andre beim Anlauf stoßartig wirken.

Wie die vorstehenden Abbildungen zeigen, lassen sich mit diesem Verfahren die in einer Wellenleitung auftretenden Schwingungen und die durch die Welle übertragenen Drehmomente bequem und zuverlässig aufnehmen. Für eine bestehende Welle ist hierzu nur nötig, auf einem Wellenquerschnitt die Meßscheibe mit den Widerstandsdrähten anzubringen, auf einem zweiten Querschnitt das Übertragungsrohr und an einer passenden Stelle die Schleifringe mit den Abnahmebürsten. Meßscheibe, Übertragungsrohr und Schleifringe können in der Wellenachse geteilt sein, sie müssen nur durch Klemmenschellen möglichst starr auf der Welle befestigt werden; sie lassen sich dann in wenigen Minuten auf eine zu untersuchende Welle aufsetzen, ohne daß an der Welle etwas geändert wird. Bei kleinem Wellendurchmesser kann man die Meßanordnung leicht eichen, wenn man das eine Wellenende festspannt und hinter der Meßbrücke durch einen Hebel mit genau gemessenem Hebelarm die Welle mit einem bestimmten Drehmoment belastet. Da innerhalb der zulässigen Belastungsgrenzen die Verdrehung dem Drehmoment genau verhältnisgleich ist, genügt eine einzige Aufnahme. Für starke Wellen kann genügend genau das der Verdrehung entsprechende Drehmoment berechnet werden, wenn der Gleitmodul G des Baustoffes der Welle bekannt ist; G schwankt ja nur in sehr engen Grenzen. Es ist dann nur festzustellen, welchem Verdrehungswinkel ein bestimmter Ausschlag entspricht.

Die Winkelverdrehung läßt sich sehr leicht auf ein hohes Maß übersetzen. Solche Übersetzungen hat bereits Föttinger bei seinem Torsionsindikator[1]) mit bestem Erfolg verwendet. Hier lassen sich diese Übersetzungen viel einfacher und betriebssicherer anbringen, weil sich alle Hebel nur in parallelen Ebenen bewegen; sie können daher auf Schneiden gelagert werden, an die sie durch Federn angepreßt werden, so daß jeder tote Gang vermieden wird. Eine solche Übersetzungsanordnung zeigt schematisch Abb. 20: A ist die Welle, B das Übertragungsrohr mit den zwei starren Armen C, der Übersetzungshebel D ist in L auf der Meßscheibe gelagert, die die zu L konzentrischen Drahtbogen E trägt, auf denen die Schleifkontakte F gleiten[2]).

Für die bloße Messung von Drehmomenten ist kein Oszillograph nötig; es genügt ein gutes Millivoltmeter mit höherem Eigenwiderstand. Mit welch kleinen Raummaßen man hierbei auskommt, zeigen am besten zwei Beispiele. Verwendet werden Meßdrähte aus Widerstandsdraht von 1 mm Dmr. mit einer Leitfähigkeit von 0,5. Der Widerstand von 1 mm Drahtlänge beträgt $0{,}61 \cdot 10^{-3}\,\Omega$. Der Draht führt einen Strom von 2,5 A, den er dauernd vertragen kann. Als Meßgerät wird ein listenmäßiges Millivoltmeter mit $10\,\Omega$ Eigenwiderstand V benutzt. Die Skala hat 150 Grade gleich 45 mV, also $1^\circ = 3 \cdot 10^{-4}$.

1) Eine Welle von 5 cm Dmr. überträgt ein Drehmoment $M = 30$ mkg. Der Abstand der Meßquerschnitte der Welle sei $L = 50$ cm, der Halbmesser der Arme des Übertragungsrohres $R = 25$ cm, die Übersetzung des Kontakthebels $u = 15:1$ und der Gleitmodul des Wellenmaterials $G = 828\,000$ kg/cm². Dann wird der Ausschlagbogen am Meßdraht in mm:

$$l = \frac{L\ R\ M\ [\text{cmkg}]}{G\ J}\,u\ 10,$$

wobei J das Trägheitsmoment des Wellenquerschnittes, hier $J = 61{,}4$ cm⁴ ist; also:

$$l = \frac{50 \cdot 25 \cdot 3000}{828\,000 \cdot 61{,}4} \cdot 15 \cdot 10 = 11{,}1 \text{ mm}.$$

Bei diesem Ausschlag wird die Spannung an den Schleifkontakten

$$e = 2 \cdot 0{,}61 \cdot 10^{-3} \cdot 11{,}1 \cdot 2{,}5 = 33{,}9 \cdot 10^{-3}\ \text{V}.$$

Dieser Spannung entspricht am Millivoltmeter ein Ausschlag von 113°; 1 mkg ergibt demnach einen Ausschlag von 3,77°, und da an derartigen Geräten $^1/_{10}$° noch ablesbar ist, können Änderungen des Drehmomentes von 0,025 mkg noch gemessen werden. Die Verwendung derart niedriger Spannungen ist in der Elektrotechnik nichts Ungewöhnliches; mit noch niedrigeren Spannungen arbeiten z. B. die zur Temperaturmessung in ausgedehntem Maße verwendeten Thermoelemente und erreichen dabei eine sehr hohe Genauigkeit. Es ist jedoch notwendig, die Übergangswiderstände im Brückenkreise auf ein kleines Maß zu verringern, also für gute Auflage der Schleifkontakte und der Bürsten an den Schleifringen zu sorgen und auch alle übrigen Kontakte in gutem Zustand zu erhalten. Die Schleifringbürsten müssen aus Metall sein, gut und sicher aufliegen und leicht eingeölt werden, ebenso wie die Schleifkontakte; diese müssen so sicher geführt sein, daß kein toter Gang entsteht. Die letzten Abbildungen zeigen, daß dies bei dem verwendeten Apparat der Fall ist. Die Einpassung machte keine Schwierigkeit.

2) Eine Schiffswelle von 30 cm Dmr. hat 2000 PS bei 75 Uml./min zu übertragen, entsprechend einem Drehmoment von 19 100 mkg. Der Abstand der Meßquerschnitte sei 50 cm, der Halbmesser der Arme des Übertragungsrohres 50 cm, die Übersetzung des Kontaktarmes wieder 15 : 1 und der Gleitmodul 828 000 kg/cm². Der Ausschlagbogen am Meßdraht wird:

$$l = \frac{50 \cdot 50 \cdot 1\,910\,000}{828\,000 \cdot 79\,525} \cdot 15 \cdot 10 = 11 \text{ mm}.$$

Die Spannung an den Schleifkontakten wird demnach wieder $e = 33{,}5 \cdot 10^{-3}$ V und der Ausschlag des Millivoltmeters 112°. Abgelesen können 17 mkg werden oder ungefähr Änderungen von 0,1 vH der Leistung.

Der hier erforderliche Raum von ½ m Länge und 1 m Dmr. bei 30 cm Wellendurchmesser ist recht bescheiden, und bei einigermaßen zweckmäßiger Ausführung läßt sich eine sehr hohe Genauigkeit erzielen, von derselben Größenordnung wie bei einer Drahtmeßbrücke für Widerstandsmessungen. Die Meßeinrichtung kann fest eingebaut und das Millivoltmeter unmittelbar in mkg geeicht werden, wenn für Konstanthaltung des Meßstromes gesorgt wird. Dies ist in einfacher Weise möglich durch Verwendung von etwa zwei Akkumulatorzellen reichlicher Größe oder bei Entnahme des Stromes aus einem Lichtnetz durch Vorschalten von Eisendrahtlampen. Das Meßgerät kann in beliebiger Entfernung von der Meßstelle aufgestellt werden. Man kann auch an diesen Aufstellungsplatz die Stromzuführung hinleiten und dort einen Stromzeiger und einen Stufenwiderstand aufstellen, so daß vor jeder Ablesung der Strom genau eingestellt wird. Ferner können, genau wie bei Temperaturschreibern, der zeitliche Verlauf der die Welle durchlaufenden Drehmomente durch ein Schreibgerät und bei Verwendung eines Mehrfachschreibers die Drehmomente einer größeren Anzahl von Wellen aufgezeichnet

[1]) Forschungsarbeiten, Heft 25.

[2]) Die Meßscheibe selbst sitzt starr auf der Welle A.

werden. Der ordnungsmäßige Zustand der Meßeinrichtung ist dadurch ständig nachprüfbar, daß bei Stillstand der Welle das Meßgerät auf null einspielen muß, wenn der Meßstrom eingeschaltet ist. Ist der Elastizitätsmodul des Wellenmaterials bekannt, was bei größeren Wellendurchmessern fast immer der Fall sein dürfte, so ist die Eichung außerordentlich einfach, da das Millivoltmeter nur auf Winkelverdrehung geeicht zu werden braucht. Man hebt die beiden Schleifkontakte durch ein untergeschobenes Stück Papier vom Meßdraht ab und tastet durch zwei Tastkontakte, die mit je einem der Schleifkontakte leitend verbunden werden, in einer abgemessenen Entfernung von der Nullstellung, etwa 10 mm, die Meßdrähte ab. Diese einfache Ablesung des dabei entstehenden Ausschlages genügt, da sowohl Ausschlag wie Drehmoment der Entfernung von der Nullstellung verhältnisgleich sind.

Literatur über den Oszillographen:

Hornauer, Zeitschrift für Electrotechnik, Wien, 1905, Heft 29 und 30.

Haurath, Apparate und Verfahren zur Aufnahme von Wechselstromkurven.

Keinath, Aufzeichnung schnell veränderlicher Vorgänge. (Behandelt eingehend die Genauigkeitsgrenzen.) ETZ Bd. 36 (1915) Heft 48 bis 51.

Von der Firma Siemens & Halske A.-G. ist eine Beschreibung und Gebrauchsanweisung herausgegeben. [A 61]

Luftfahrt und Technik.

Von Prof. Dr. E. Everling, Berlin-Köpenick.

Die luftfahrtechnische Entwicklung läßt sich kennzeichnen als Leichtbau, Gewichtersparnis in Form, Stoff und Kraft; ihre Lehren und Erfahrungen sind in der sonstigen Technik überall da nutzbringend zu verwerten, wo Bewegungen vorkommen. Die Fahrzeugtechnik, vor allem der Kraftfahrzeugbau, hat vom Leichtbau besondere Vorteile, wie an Beispielen (Rumpler-Tropfenauto u. a.) näher erläutert werden kann. Folgerungen für Industrie und Hochschule.

A. Die Entwicklung der Luftfahrzeuge mit eigenem Antrieb setzte ein, als man mit dem Ballon und dem Drachen einen leichten Motor vereinigen konnte; sie erreichte ihre heutige Höhe vorwiegend durch Gewichtersparnisse in Aufbau, Antrieb und Verbrauch; auch die neuesten Verbesserungen sind Aufgaben des Leichtbaues im weitesten Sinne des Wortes: Die Werkstoffe sind so zu wählen und zu gestalten, daß die erforderliche Festigkeit mit dem geringsten Gewicht jedes Teiles wie des Ganzen erzielt wird, und die Einzelteile müssen möglichst wirtschaftlich zusammenarbeiten; denn jeder ersparte Leistungsverlust erleichtert neben der Kraftanlage selbst auch den Vorrat und das ganze Fahrzeug, gestattet also, mit bedeutend geringerem Totgewicht die gleichen Eigenschaften zu erzielen, zumal das leichtere Fahrzeug wiederum mit geringerer Antriebleistung zufrieden ist.

Bei diesen Wechselwirkungen scheint eine Einteilung gewagt, doch soll sie versucht werden:

I. Leichtformbau, Gewichtersparnis durch zweckmäßige Gestaltung des Werkstoffes;

II. Leichtstoffbau, Gewichtersparnis durch Werkstoffe größten Verhältnisses von Elastizität, Festigkeit usw. zur Dichte;

III. Leichtkraftbau, Gewichtersparnis durch Wirtschaftlichkeit in
   a) Krafterzeugung: geringes Gewicht des Motors wie des verbrauchten Betriebstoffes (Energieträgers und Schmiermittels),
   b) Kraftleitung: Kraft- und Arbeitsmaschine örtlich und dynamisch zusammengerückt, Vermeiden von Umformungen in andre Bewegungs- und Energiearten,
   c) Kraftverbrauch: geringe Verluste durch
      α) Strömungswiderstände: Wirbelungen,
      β) Dämpfungswiderstände: Schwingungen,
      γ) Lagewiderstände: Schwerpunktverschiebungen.

Einige hervorstechende Beispiele mögen genügen:

Zu I. Der Leichtformbau erreicht seinen Höhepunkt in den Metall-Eindeckerflügeln mit tragender Außenhaut[1]) über einem Raumfachwerk von Holmen und Rippen, im Gegensatz zur früheren Stoffbespannung.

Zu II. Der Leichtstoffbau ist gediehen bis zum Duralumin, das an Reißlänge (Zugfestigkeit geteilt durch Wichte) sogar den besten Stahl übertrifft[2]), ihm aber an Dehnungslänge (Elastizitätszahl durch Wichte) unterlegen ist, dem Stahl also nicht bei Knickbeanspruchung, wohl aber für Zug-, Druck- und Biegungsglieder vorzuziehen ist; außerdem verlangt es meist keine Zugabe für Mindestwandstärke zur Deckung örtlicher Fehler und Mehrbeanspruchungen.

Zu III. Der Leichtkraftbau: a) Krafterzeugung: An Benzin, als dem Brennstoff mit größtem Energieinhalt (Heizwert 10 600 kcal/kg), braucht ein guter Flugmotor nur $\approx$ 0,2 kg/PSh, an Öl nur $\approx$ 0,01 kg/PSh. Das Motoreinheitsgewicht ist unter 1 kg/PS herabgedrückt.

b) Kraftleitung: Der Motor liegt unmittelbar an der Luftschraube, die früheren Kettenantriebe, Gestänge, Gelenkwellen und Kegelräder wurden zugunsten unmittelbarer Kupplung, nötigenfalls mit einem ganz einfachen Getriebe, verlassen; elektrische, hydraulische oder andre Umformer werden vermieden.

c) Kraftverbrauch: Dem Herabsetzen der Strömungswiderstände, die sämtlich in Wirbeln ihren Grund haben, diente die umfassende rechnende und messende Tätigkeit der „Aerodynamiker", die Schnitte und Umrisse von Tragflügeln und Treibschrauben zu immer höheren Gütegraden, Rümpfe, Verspannungen und Fahrgestelle zu stets günstigeren Formen entwickeln ließ. Das Segelflugzeug „Konsul" des Rhön-Wettbewerbes 1923 hatte einen Gesamtwiderstand von nur etwa $^1/_{20}$ des Tragflügelauftriebs, und der Wirkungsgrad von Luftschrauben übersteigt ¾.

Schwingungsverluste werden bereits durch die starre Kupplung kurzer Wellenleitungen, deren Eigenschwingungszahl die Drehzahl selbst der Schnelläufermotoren mehrfach übertrifft, vermieden.

Veränderliche Lasten, Fluggäste, Brennstoffe oder dergl. bringt man in der Nähe des Gesamtschwerpunktes unter, um die Fluglage von betriebsmäßigen Schwankungen der Ladung unabhängig zu machen und unwirtschaftliches, dauerndes Betätigen der Haupt- oder Hilfsruder zu vermeiden.

B. Wenn die übrigen Zweige der Technik, vor allem die Luftfahrzeugbauer selbst, die sich nach dem Krieg umstellen mußten, aus den Luftfahrterfahrungen Nutzen zogen, so trieben sie Leichtbau, so sparten sie Gewicht in Form, Stoff und Kraft. Einige Beispiele werden zeigen, in welchem Umfang das bereits geschieht. Sodann sollen die Verwendungsmöglichkeiten für den Leichtbau allgemein zusammengestellt und zum Schluß gezeigt werden, wie sie sich verwirklichen lassen.

Besonders günstig ist die Verwendung von Luftfahrterfahrungen bei hydraulischen Maschinen, vor allem beim Ausnutzen der Windkraft. Neuerdings sucht man beim „Ventimotor" durch günstige Stromlinienform, also tragflügelähnliche Profile, höchste Leistung zu gewinnen und gleichzeitig durch die Bauart nach demselben Vorbild, nämlich Windmühlenflügel aus Furnierschalen mit Holzholmen, Gewicht und damit Beanspruchung des Unterbaues zu sparen.

Sodann hat sich erklärlicherweise der Fahrzeugbau die Luftfahrterfolge zunutze gemacht. Sogar der Eisenbahnwagen, dieses rollende Haus, sucht sich durch Stromlinienform vor schädlichen Luftwiderständen zu schützen[3]). Vor allem können die leichten, von Schienen unabhängigen Motorfahrzeuge den Leichtbau nutzen.

In der Tat konnte unsre Autotechnik hier zu gänzlich neuen Gestaltungen fortschreiten. Nicht die Verwendung leichter Metalle und zweckmäßiger Bauformen war es, die Besseres brachte, viel mehr noch war hier der Leichtkraftbau am Platze; und der wirkte nicht bloß durch Beseitigen von Strömungswiderständen der äußeren Hülle, sondern bereits beim Erzeugen und Fortleiten der Antriebleistung. Unter den verschiedenen Stromlinien-Kraftwagen sei hier das Rumpler-Tropfenauto[4]) erwähnt, bei dem die verschiedenen Seiten des Leichtbaues klar hervortreten und sich gegenseitig bedingen.

---

[1]) Vgl. etwa den Rohrbach-Metall-Eindecker, Z. Bd. 65 (1921) S. 591.

[2]) Drückt man die Wichte aus in t/m³ (z. B. $\gamma = 7{,}8$ t/m³ für Stahl, $\gamma = 2{,}8$ t/m³ für Duralumin, die Zugfestigkeit in kg/mm² (z. B. $k_z = 117$ bzw. 48 kg/mm²), so folgt Reißlänge in km ($L = 15$ bzw. 17 km).

[3]) Vgl. F. Bendemann, Die Flugzeugprüfbahn der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt und über den Luftschraubenantrieb für Eisenbahnfahrzeuge. ZFM Bd. 11 Nr. 17 und 18 vom 15. und 30. Sept. 1920 S. 245 bis 252 und 261, vor allem Abb. 13 am Schluß; ferner Carl Geißen, Luftschraubenantrieb und Leichtbau von Eisenbahnfahrzeugen, Glasers Annalen Bd. 88 Nr. 7 vom 1. April 1921 S. 53 bis 60, vor allem Abb. 8 und 9, S. 56, Text S. 55 unten; endlich L. Prandtl, Die Aerodynamische Versuchsanstalt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und ihre Bedeutung für die Technik, „Die Naturwissenschaften" Bd. 10 (1922) Heft 8.

[4]) s. Z. Bd. 65 (1921) S. 1011; die Bauart 1923 ist in den VDI-Nachr. Bd. 3 Nr. 39 vom 26. September 1923 (Abb. 1, 3, 4, 5) beschrieben. Auch der Name Tropfen ist der Flugtechnik entlehnt; er wird dort für die strömungstechnisch günstige, Fischform der Strebenquerschnitte gebraucht. Der fallende Tropfen selbst ist nahezu kugelförmig, also kein Vorbild für Stromlinien-Fahrzeuge!

Hier ist nämlich, s. Abb. 1, der Antriebmotor mit Kupplung, Wechsel- und Ausgleichgetriebe zu einem einzigen Block vereinigt, der in einem Aluminiumgußgehäuse sitzt und beiderseits die geteilte Hinterachse bogenförmig führt, so daß deren getriebene Kegelräder sich beim Ausfedern der Hinterachshälften auf den antreibenden Kegelrädern abwälzen. Diese Anordnung, die durch die neuartige Abfederung erst möglich geworden ist, gestattet nun nicht nur die Rahmenbauart des Fahrgestelles, sondern vor allem die äußerlich auffallende Tropfenform der ganzen Karosserie. Die Strömungswiderstände werden weiter dadurch verringert, daß alle vorstehenden Teile, wie Ersatzreifen, Koffer, Laternen, Hupen und Kotflügel, entweder im Körper verschwinden, wie die Reifen im vorderen Teile des Rahmens, die Koffer hinten in der Limusine, Hupen und Scheinwerfer am Bug, oder fischförmigen Querschnitt erhalten, wie die genau wagrechten Kotflügel, die am Vorderrad unterteilt sind.

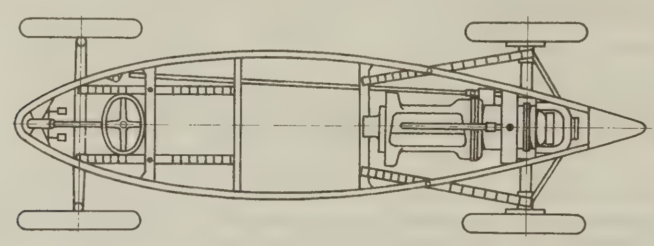


Abb. 1. Rumpler-Tropfen-Automobil.

Abb. 2 gibt zum Vergleich die gewohnte Anordnung des Kraftwagens: vorn schmal, hinten breit, Motor nahe der Vorderachse, dahinter Kupplung und Getriebe, lange Wellenleitung mit Kreuzgelenken zur Hinterachse, die als Ganzes samt Schubstangen, Wellenende und Ausgleichgetriebe in ihrer Federung schwingt.

Die Merkmale der Bauart Abb. 1 zeigen vortrefflich die verschiedenen Seiten des Leichtbaues nach dem Schema, das oben aufgestellt wurde:

I. Leichtformbau, vor allem der besonders hohe, mit Flanschen oben und unten aus Stahlblech hergestellte Rahmen des Fahrgestelles,

II. Leichtstoffbau, das Aluminiumgehäuse des Blocks, das in seiner kräftigen, gedrungenen Ausführung durch Verwendung eines Leichtmetalls wesentliche Gewichtersparnisse gestattet,

III. Leichtkraftbau nach verschiedenen Richtungen:
  a) In der Krafterzeugung durch einen eigens gebauten Fächermotor, der aus des Erbauers Flugpraxis hervorgegangen ist und früher bereits beschrieben worden ist[1]);
  b) in der Kraftleitung durch die kurze gelenkfreie, fest gelagerte Welle zwischen Motor und Hinterachse, die alle Verluste durch Kardanbewegung vermeidet;
  c) im Kraftverbrauch durch Vermeiden der Verluste
    α) in Strömwiderständen durch die sogenannte Tropfenform des ganzen Wagens, aus dem lediglich die Räder mit kurzen Enden der Achsen und ein Teil der Hinterachsfederung, sonst nur Teile mit Stromlinienschnitt hervorragen (die Luft strömt in Bahnen, die wesentlich zum Boden parallel laufen, um den Wagenkörper);
    β) in Dämpfungswiderständen durch möglichstes Verkleinern der ungefederten Massen, an den Hinterrädern nur je ein Rad und etwa die Hälfte der Achsen und Federn, sonst beide Räder an gemeinsamer Achse mit etwa der Hälfte der Federn, den Ausgleichgetrieben und den Enden der Hauptwellen wie der Schubstange; dadurch wird das Springen an Hindernissen seltener, die Leistungsentnahme also gleichmäßiger;
    γ) in Lagerwiderständen, Ungleichmäßigkeiten vor allem der Radbelastung: gerade wie man beim Flugzeugbau veränderliche Lasten nahe dem Schwerpunkt unterzubringen sucht, sitzen auch hier die Fahrgäste nicht über der Hinterachse wie beim gewöhnlichen Kraftwagen, Abb. 2, sondern in der Mitte des Wagens, Abb. 1, und der Fahrer nicht im Schwerpunkt, sondern vorn, als stets vorhandenes Gegengewicht zu dem hinten liegenden Motor.

[1]) vergl. unter [4]) S. 491.

Dies Beispiel lehrt, wie die verschiedenartigen Maßnahmen des Luftfahrzeugbaues zum Erhöhen der Flugleistungen auch auf dem festen Erdboden nutzbar gemacht werden können, vor allem für das leichte Fahrzeug, das durch sein geringes Gewicht handlich, wirtschaftlich und damit in Anschaffung und Betrieb billig sein soll[2]).

C. Allgemein ist der Leichtbau in der Technik da am Platze, wo man es mit Bewegungen zu tun hat, und zwar mit
1) mechanischen Bewegungen
  a) des Werkzeuges über dem Stoff — geringe Bearbeitungsflächen,
  b) des Werkstoffes durch die Fabrik — geringe Kranleistungen und Transportkosten,
  c) der Ware beim Versand — geringe Frachten (und Zölle),
  d) der Ware beim Gebrauch, denn sie
    wird leichter tragbar (z. B. Grubenlampen, die stoßfest und doch handlich sein müssen, aus Leichtmetall in leichter Form),
    erfordert geringere Totlast, vermindert Schwingungsverluste, Beschleunigungs- und Bremskräfte (z. B. Leichtbau-Eisenbahnwagen)[3]);
2) physikalischen Bewegungen
  e) der Wärme im Maschinenteil — geringe Speicherung, besserer Durchgang,
  f) der Elektrizität im Stoff — geringere Wirbelstromverluste,
    beides (z. B. bei den Preßdeckeln für die Bleche von Dynamos) durch dünnwandige Ausführung etwa nach Art der Metallflugzeug-Flügel mit Innengerippe und tragender Haut.

D. Das Erreichte wie das Mögliche verpflichtet jedenfalls die Vertreter der Luftfahrt und der übrigen Technik, auf Mittel und Wege zu sinnen, wie man die eine mit ihren Erkenntnissen und Erfahrungen der andern dienstbar machen kann.

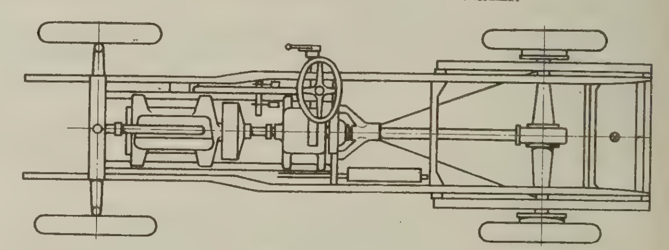


Abb. 2. Gewöhnliche Form eines Automobils.

Aufklärende Schriften und Reden genügen nicht, mögen sie auch durch schlagende Beispiele belegt sein. Wir müssen planmäßig vorgehen, uns des Hochschulunterrichtes und der Ingenieurfortbildung bedienen. Dem jungen Luftfahrzeugbauer muß in besondern Vorlesungen sein Gebiet im Zusammenhang mit verwandten Zweigen der Technik geboten werden[4]), damit er es leichter wagen kann, das wirtschaftlich heute nicht aussichtreiche Sonderfach zu wählen, weil er mit der stark beschäftigten Nachbarindustrie in geistigem Zusammenhang bleibt. Und der Schüler dieser Zweige, den das Interesse für die gemeinsamen Gesichtspunkte — etwa Leichtbau oder Strömungskräfte oder Schwingungen — zu diesen Vorträgen hinzieht, wird ein Teil Luftfahrtechnik in sein Arbeitsfeld mit hinausnehmen.

Neben dieser Ergänzung des Hochschulunterrichtes sind für die Ingenieure mit anderweitiger Vorbildung, besonders für die, die schon im Beruf stehen, Kurse anzustreben, vor allem für die konstruktive und werkstattechnische Seite des Leichtbaues. An wissenschaftlich geschulten und praktisch erfahrenen Lehrern mangelt es nicht, Anteilnahme weiter Kreise ist gewiß; sie muß nur geweckt werden durch zusammenfassende oder einführende Vorträge in den technischen Vereinen. [A 52]

[2]) Zu diesen Forderungen vergl. von Selve, Die Vervollkommnung des Kraftwagens und ihre volkswirtschaftlichen Vorteile, VDI-Nachr. Bd. 4 Nr. 2 vom 9. Januar 1924 S. 1 bis 2.

[3]) vergl. unter [3]) S. 491.

[4]) Der Verfasser hat das von vergangenem Semester an in der Technischen Hochschule Berlin versucht.

Technisierung der Landwirtschaft.

Von Zivilingenieur Ernst Zander, Berlin.

Die Notwendigkeit der Steigerung landwirtschaftlicher Erzeugung, des ältesten und auch heute noch dem Werte der Erzeugung nach bedeutendsten Gewerbes, verlangt den Aufwand eines wesentlich höheren Maßes technisch-geistiger Energie als bisher. Eine gewisse einseitige Betonung der Agrikulturchemie seit Liebig verhinderte die gründliche Erforschung der beiden Hauptbaustoffe der Pflanze: Kohlenstoff und Wasser. Parallelen zur wissenschaftlichen Denkweise und Begriffsbildung der Maschinenindustrie werden gezogen und die Übertragung des Wirkungsgradbegriffes auf die wissenschaftliche Landwirtschaft wird gefordert. Der Aufwand erhöhter geistiger und materieller Mittel für die Landwirtschaft verspricht eine wesentliche Belebung der Maschinenindustrie und Verbesserung der deutschen Wirtschaftsbilanz.

Kohle und Eisen gelten mit Recht als grundlegende Pfeiler der heutigen Zivilisation, und das schnelle Anwachsen der jährlichen Erzeugung dieser beiden Rohstoffe in der deutschen Volkswirtschaft vor dem Kriege war ein sichtbares Zeichen unsres wirtschaftlichen Aufstieges. Die technisch-geistige Arbeit wandte sich in erster Linie der Erzeugung und Weiterverarbeitung dieser beiden Stoffe zu. Den Trägern dieser Arbeit kam wenig zum Bewußtsein, daß die Erzeugung der Nahrungsmittel aus dem deutschen Boden ihrem Werte nach ein Vielfaches der von Kohle und Eisen betrug, und daß auch diese Industrie des Bodens immer mehr nach einer technisch-wissenschaftlichen Bearbeitung hindrängte.

Obschon ihre Jahreserzeugung die von Kohle und Eisen weit überragte, verteilte sich die in Deutschland (und nicht viel anders in den übrigen Ländern) insgesamt aufgewandte technisch-geistige Energie sehr ungleich auf die beiden Gruppen. Sicherlich flossen weniger als 5 vH davon dem Boden zu, und die Folge davon war, daß einer unsrer führenden landwirtschaftlichen Ingenieure, Professor Holdack, schon vor dem Kriege mit Recht die Behauptung aufstellen konnte, die Technik in der Landwirtschaft stehe im Vergleich zur Technik in der Industrie heute kaum in der Zeit von Watt und Stephenson.

Man braucht nur darauf hinzuweisen, daß unsre technischen Hochschulen nur in ganz verschwindendem Umfang ihre Forschungs- und Erziehungarbeit dieser Industrie des Bodens zuwenden, obwohl sie in bezug auf die erzeugten volkswirtschaftlichen Werte immer noch an der Spitze aller Industriegruppen marschiert; erzeugte sie doch vor dem Kriege jährlich für etwa 14 Milliarden Goldmark Werte.

Dieses Mißverhältnis ist um so erstaunlicher, als die für den heutigen Stand der menschlichen Zivilisation grundlegende Arbeit Liebigs über die Bedeutung von Stickstoff, Kali, Phosphorsäure und Kalk für die Ernährung der Pflanze auf dem Gebiete der Industrie des Bodens liegt. Ohne diese Arbeit von Liebig wäre die Ernährung besonders der heutigen weißen Menschheit nicht möglich gewesen, und ohne sie wäre vor allem Europa weiter ein starkes Auswanderungsland geblieben und in wirtschaftlich drückende Abhängigkeit von den jungfräulichen Ackerböden Amerikas geraten, noch viel mehr, als es jetzt infolge des Krieges und der Verschiebung des europäischen Vermögens in die Vereinigten Staaten der Fall ist.

Es soll nicht verkannt werden, eine wie bedeutende Arbeit in den wissenschaftlichen Instituten der Landwirtschaft nach Liebig besonders in den letzten 50 Jahren geleistet worden ist, doch drängen sich dem im technischen Denken Erzogenen eine Reihe von grundsätzlichen Erwägungen auf, wenn er sich in die heute übliche Art landwirtschaftlich-wissenschaftlicher Arbeit vertieft. Der Ingenieur und Chemiker von heute ist aus dem Bereich des tastenden Versuchs und der empirischen Formel, des Rezeptes und der handwerklichen Übung zur wissenschaftlichen Denkarbeit soweit vorgeschritten, daß er seinen großen Aufgaben zunächst die theoretisch erreichbaren Grenzen steckt und planmäßig gegen diese Grenzen vorrückt. Er erforscht Eigenschaften der von ihm verwendeten Stoffe in weitestem Umfange, kennt genau die Richtung und Größe der wirkenden Kräfte und schreitet vor zu vollendeter Planwirtschaft für Kraft und Stoff.

Die wissenschaftliche Landwirtschaft ist noch weit von diesem Weg und Ziel entfernt. In der Hauptsache wirkt auf dem Gebiete der Kraft- und Stoffwirtschaft auch heute noch das Werk Liebigs richtunggebend. Ein Hauptteil aller wissenschaftlichen Arbeit erschöpfte sich in vielen Tausenden von Düngungsversuchen auf dem Gebiete der wichtigen oben genannten vier Nährstoffe, dagegen ist die Erforschung der beiden Hauptaufbaustoffe der Pflanze, des Wassers und des Kohlenstoffes, geradezu stiefmütterlich weggekommen.

Der für Richtung und Wert technischer Arbeit kennzeichnende Begriff des Wirkungsgrades ist im wissenschaftlich-landwirtschaftlichen Denken noch recht wenig entwickelt.

Machen wir uns diese kritischen Betrachtungen an einigen Beispielen klar: Jene in der Nachfolge Liebigs geleistete Arbeit für die aus dem Boden in die Pflanze aufsteigenden Mineralstoffe behandelt nur 3 bis 5 vH der pflanzlichen Baustoffe. Der Wirkungsgrad der dem Acker einverleibten Dünger dieser Art schwankt etwa zwischen 20 und 60 vH; das ist zwar durch unzählige Versuche festgelegt, aber auch vielfach zieht man daraus nur einen Durchschnittsschluß, und es ist keineswegs üblich, bei den wissenschaftlichen Düngeversuchen den Ursachen so verschiedener Wirkungsgrade nachzugehen.

Man stelle sich dagegen vor, daß der Wirkungsgrad einer bestimmten Gruppe von Kraftmaschinen in ihren verschiedenen Ausführungen zwischen 20 und 60 vH schwankte: welche Unsumme von technisch-geistiger Arbeit würde sofort aufgewendet werden, um die Ursache solcher Schwankungen klarzulegen Dabei ist der Wert der in den deutschen Boden eingebrachten Düngestoffe, die so großen, in ihrer Ursache im wesentlichen unerforschten Schwankungen des Wirkungsgrades unterliegen, sehr viel höher als der sämtlicher festen und flüssigen Brennstoffe, die zur Speisung der Wärmekraftmaschinen dienen!

Nun handelt es sich in dem vorliegenden Beispiel nur um etwa 3 bis 5 vH der in der Ernte enthaltenen Stoffe, und für die übrigen liegen die Verhältnisse fast noch schlechter. Der Hauptbaustoff aller Pflanzen für ihr äußeres Gerüst und ihren Ertragwert an Zucker, Stärke, Eiweiß und Fett,

der Kohlenstoff,

ist bisher in einer fast unbegreiflichen Weise von der wissenschaftlichen Forschungsarbeit vernachlässigt worden. Man sagt: die Sorge um den Kohlenstoff erübrigt sich, weil die Pflanze ihn durch die Spaltöffnungen ihrer Blätter aus der Luft entnimmt und diese in der Form von Kohlensäure Kohlenstoff in beliebiger Menge zur Verfügung stellt. Dabei führt die Landwirtschaft in den deutschen Boden jährlich viele Millionen Tonnen Kohlenstoff in der Form des Stallmistes ein, jeder Praktiker weiß, daß die Ergänzung des Humuskohlenstoffes im Boden auf diese Art unumgänglich nötig ist, und trotzdem wendet die landwirtschaftliche Wissenschaft nur einen verschwindenden Bruchteil ihrer Gesamtarbeit diesem wichtigsten Aufbaustoff der Pflanze zu.

Wahrscheinlich trifft die Anschauung, als ob die Pflanze ihren Kohlenstoff in der Hauptsache dem Vorrat des Luftmeeres entnähme, für intensivere Kulturen überhaupt nicht zu; denn es liegen eine Reihe von wissenschaftlich sehr genauen Versuchen, weniger von seiten der Landwirtschaft als der biologischen Chemie und Botanik vor, die als Hauptquelle des Kohlenstoffaufbaues der Pflanze die aus dem Boden infolge der Zersetzung des in ihm enthaltenen Kohlenstoffes aufsteigende Kohlensäure wahrscheinlich machen. Diese neuen wissenschaftlichen Anschauungen über die Bedeutung der Bodenkohlensäure haben den großen Vorzug, der uralten Erkenntnis der Praxis über die Bedeutung des Humusgehaltes in der Ackerkrume wissenschaftliche Unterlagen zu geben und auch der Tatsache gerecht zu werden, daß viele wichtige Kulturpflanzen die Spaltöffnungen, durch die anerkanntermaßen die Kohlensäure eintritt, vorwiegend auf der Unterseite der Blätter haben. Man kann Boden und Pflanze als Kohlenstoffumformer betrachten, derart, daß durch diese vereinigten Organe der in den Boden als Rohstoff vorwiegend in Form von Stalldünger und Wurzelresten eingeführte Kohlenstoff in Pflanzenkohlenstoff umgewandelt wird.

Auf diesen Umformer kann ebenfalls ohne weiteres der Begriff des Wirkungsgrades angewandt werden, doch ist bisher dieser Gesichtspunkt in der Hauptsache unberücksichtigt geblieben, obwohl seine planmäßige Erforschung die bedeutendsten wirtschaftlichen Ergebnisse verspricht. Der Hauptterntewert, jährlich 14 Milliarden Goldmark, steckt in dem veredelten Kohlenstoff, dessen Gewichteinheit erheblich teurer bezahlt wird, als der roh in den Boden gebrachte Kohlenstoff kostet. Wir stehen daher vor der merkwürdigen Tatsache, daß dieses Rückgrat landwirtschaftlicher Erzeugung, die Umformung von Boden-Kohlenstoff, weder ihrem Wirkungsgrad noch ihrem Wesen nach bekannt und wissenschaftlich verwertet ist, obwohl die jährlich in den Boden gegebene Kohlenstoffmenge größer ist als der in allen Wärmekraftmaschinen verbrauchte Kohlenstoff, und der Endzweck der Umformung, der Stoff für die menschliche Ernährung, von ungleich größerer Wichtigkeit ist als die Krafterzeugung. Man vergleiche ferner die Unsumme geistig-technischer Arbeit, die auf die Ausbildung unserer Kraftmaschinen, die Erkenntnis ihrer inneren Vorgänge und die Erhöhung ihres

Wirkungsgrades verwendet wird, mit der Tatsache, daß bisher herzlich wenig davon dem Kohlenstoff des Nährbodens zufließt.

Nicht viel anders steht es mit dem grundlegenden Nährstoff der Pflanze, dem

Wasser.

Zahlenmäßig stehen die verschiedenen Nährstoffe der Pflanze zueinander ungefähr in folgendem Verhältnis: Auf 1 ha verlangt eine gute Ernte an den mineralischen Nährstoffen, denen bisher der Hauptteil wissenschaftlicher Arbeit zugeflossen ist, einige Hundert Kilogramm; Kohlenstoff wird verbraucht in der Größenordnung von einigen Tausend Kilogramm, und Wasser einige Tausend Tonnen. Wasser ist in der Mehrzahl aller Fälle der Nährstoff, der im Mangel vorhanden ist, und damit den erreichbaren Erntebetrag bestimmt, so reich auch sonst der Boden an den übrigen Nährstoffen sein möge. Die durch die Spaltöffnungen der Blätter für den Aufbau der Pflanze aufnehmbare Menge an Kohlenstoff ist unmittelbar bestimmt durch die Möglichkeit, ungefähr gleichzeitig eine sehr viel größere Wassermenge in einem bestimmten Verhältnis durch die gleichen Spaltöffnungen aus der Pflanze in die Luft dampfförmig abzugeben. Da nun diese Arbeit des Wasserverdampfens durch die zustrahlende Sonnenwärme geleistet wird[1]), diese Wärmemenge aber während der Wachstumszeit ungefähr bekannt ist, so ergibt sich der theoretisch überhaupt unter bestimmten klimatischen Bedingungen mögliche Höchstertrag an Erntemenge ziemlich genau durch die verdampfbare Wassermenge. Diese beträgt im Mittel der deutschen Verhältnisse etwa 600 mm für die Vegetationszeit, also etwa doppelt soviel als die während der Vegetationszeit aus den natürlichen Niederschlägen der Pflanze zur Verfügung stehenden Wassermenge von 300 bis 350 mm.

Es ergibt sich daher als eine der Hauptaufgaben der Bodenpflege, die tote Verdunstung unmittelbar aus dem Boden in die Luft möglichst zu verhindern und das Bodenwasser zu zwingen, als lebende Verdunstung durch die Pflanze in die Luft zu gehen; denn nur dieser Teil ist Wachstumswasser. Das Hauptmittel hierfür ist die dauernde Erhaltung der Bodenoberfläche als Krümelschicht, und daraus ergibt sich die große Bedeutung häufigen Hackens, wie denn seit Jahrtausenden die Intensivkulturen Chinas Hackkulturen sind, und wie sich auch in unsrer Zeit die Hackmaschine immer mehr als eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Geräte ergibt.

Es ist merkwürdig, daß über den Zusammenhang zwischen Wasser und Wachstum ebenfalls verhältnismäßig recht wenig Forschungen vorliegen. Jede Pflanze hat abhängig von ihrer Art und ihrer Züchtung einen Wassermultiplikator, das heißt die Zahl, mit der man ihr geerntetes Trockengewicht multiplizieren muß, um ihren Wasserbedarf vom Saatkorn bis zur Reife zu ermitteln. Wollny und Hellriegel, zwei Hauptforscher auf diesem Gebiet, deren Arbeiten Jahrzehnte zurückliegen, ohne daß sie — leider — der Bedeutung der Sache entsprechend von andern fortgesetzt worden sind[2]), kommen zu grundverschiedenen Ergebnissen. Während Hellriegel den Multiplikator zu 150 bis 300 annimmt, kommt Wollny zu den doppelten Zahlen, vielleicht weil letzterer die gesamte Verdunstung und ersterer nur die lebende Verdunstung berücksichtigt hat. Nehmen wir als Multiplikator 300 an und ein mittleres Wachstum von 3000 kg/ha Trockengewicht, so ergäbe sich daraus, daß nur 900 m^3/ha Wachstumswasser ausgenützt wurden, das sind 90 mm Wasserhöhe, während etwa das Vierfache aus den natürlichen Niederschlägen zur Verfügung stand. Ausgenutzt als Verdampfungswärme wurden daher nur etwa 16 vH, gewiß ein sehr schlechter Wirkungsgrad.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich ferner die hohe Bedeutung von zusätzlichen Wassergaben in Form von Berieselung oder Beregnung. Es ist möglich, bis zu 500 mm Wachstumswasser auf diese Art zu verdampfen, das sind 5 Millionen kg/ha, oder bei einem Wassermultiplikator von 300 16 700 kg/ha Trockengewicht. Diese im Vergleich zur deutschen Durchschnittsernte etwa um das Vierfache höhere Zahl würde das Ziel der Arbeiten bilden können.

In der landwirtschaftlichen Wissenschaft sind derartige Gedankengänge ungewöhnlich. Es ist bekannt, daß die Feuchtigkeit des Bodens die Ausnutzung der gegebenen Dungstoffe, vorab Stickstoff und Kali, wesentlich beeinflußt. Der verschiedene Feuchtigkeitsgehalt des Bodens ist sicherlich eine der Hauptursachen für die weit auseinander gehenden Wirkungsgrade der Dünger bei den Tausenden von Düngungsversuchen, trotzdem wird man vergeblich bei der wissenschaftlichen Verarbeitung dieser Versuche ein genaues Eingehen auf diesen Zusammenhang suchen, kaum daß einige dieser Veröffentlichungen wenigstens allgemeine Witterungsangaben machen, aus denen aber eine genaue Verarbeitung der Ergebnisse nicht möglich ist. Man pflegt Durchschnittswerte zu ziehen, ohne die Ursachen für die Abweichung der einzelnen, dem Durchschnitt zugrunde gelegten Zahlen zu erforschen. Man stelle sich vergleichsweise vor, daß im Maschinenbau von den verschiedenen Eisen- und Stahlsorten mittlere Festigkeitswerte vom Gußeisen bis zum Nickelstahl angegeben würden, um die Lücken einzusehen, die hier noch auf dem andern Gebiete klaffen.

Die Grundlage aller Landwirtschaft und der Wirkung jener eben geschilderten Wachstumsmittel ist

der Boden,

enger der tätige Boden oder die Ackerkrume, und neben der Tatsache, daß die mechanische Industrie totes Material verarbeitet, die Industrie des Bodens aber lebendes, ist nichts für den Unterschied beider Industrien so kennzeichnend als die Eigenschaft des Bodens, sich oft in ganz kurzen Zwischenräumen in seiner Struktur wesentlich zu ändern. Der Umstand, daß die Bodenarten vom reinen Sand bis zum schweren Ton und Kalk die mannigfachsten Verschiedenheiten aufweisen, hat ja in jener andern Industrie eine gewisse Parallele in der Reichhaltigkeit der benutzten Baustoffe; diese aber sind in sich im wesentlichen dauernd gleichartig, während sich ein und derselbe Boden in kurzer Zeit grundlegend ändern kann, nicht nur in bezug auf seinen Feuchtigkeitsgehalt, sondern auch in seinem inneren Zustand. Der Landwirt spricht von der Bodengare aus alter praktischer Erfahrung, wenn er den erträglichsten und fruchtbarsten Zustand des Bodens bezeichnen will. Diese eigenartige, im Frühjahr oft plötzlich eintretende Lockerung des Bodens, der eine rein mechanische Zerkleinerung durchaus nicht gleichwertig ist, bildet die Hauptgrundlage für seine Eignung zur Saat und für seine Fruchtbarkeit im allgemeinen. Eine Reihe von gefühlsmäßigen Vorstellungen über die Ursache dieser Bodengare sind vorhanden. Auch die neueren Anschauungen über Kolloide zieht man zur Erklärung heran, aber eine klare Erkenntnis dieses Zustandes liegt noch nicht vor, obwohl ohne ihn der erfolgreiche Ackerbau eine Unmöglichkeit ist.

Eine weitere Eigentümlichkeit des Bodens ist das Leben in ihm, dessen Erforschung sich die Bodenbakteriologie zum Ziel gesetzt hat, eine verhältnismäßig junge Wissenschaft, der zurzeit noch eine viel zu geringe geistige Energie zufließt; denn sie ist sicherlich berufen, auf dem Wege zu wissenschaftlicher Klarheit in der Landwirtschaft eine ganz bedeutende Rolle zu übernehmen. Den Abbau des Bodenkohlenstoffes zur Bodenkohlensäure besorgen diese Bakterien, von denen Millionen in 1 g fruchtbaren Ackerbodens vorhanden sind und die sich durch schier unglaubliche Schnelligkeit der Vermehrung auszeichnen. Vielleicht liegt auch hier eine der Ursachen für das plötzliche Auftreten der Bodengare, und je weiter wir in der Erkenntnis der Lebensbedingungen dieser unentbehrlichen Bakterien vordringen, je mehr wir die Vermehrung der nützlichen begünstigen und schädliche hemmen, um so höher wird der Wirkungsgrad aller mechanischen, chemischen und geistigen Energie sein, die wir in unsern Ackerboden stecken.

So ergibt sich ein anregendes Bild für die Industrie des Bodens, eine über alle Maßen wichtige Verkoppelung von Mechanik, Chemie und Biologie. Kein Gebiet menschlichen Schaffens ist so wichtig wie das, dem Boden große Erträge mit hohem Wirkungsgrad abzuringen. So hoch wir auch die Forschungen und Arbeiten der Männer schätzen müssen, die in den letzten 50 bis 70 Jahren die Ernten verdoppelt und verdreifacht haben, die die unentbehrliche Grundlage zur Zivilisation der weißen Rasse gelegt haben, so sicher besteht ein großer Abstand zwischen dem heute Erreichten und dem mit den Mitteln heutiger Erkenntnis Erreichbaren. Sorgen wir dafür, daß der gebührende Anteil technisch-geistiger Energie und wissenschaftlicher Arbeit von der insgesamt in unser Zivilisation aufgewendeten sich der Industrie des Bodens zuwende.

Vor einem muß allerdings gewarnt werden: sind wir schon gewohnt, in der technisch-chemischen Industrie den engen Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis zu betonen, so ist das noch viel mehr erforderlich für alle diejenigen, die ihre geistige Arbeit dem Boden zuwenden wollen. Der Asphalt der Großstadt ist hierfür nicht geeignet, nur der landwirtschaftliche Boden selbst und der enge Zusammenhang mit ihm kann die Übertragung technischen Denkens auf ihn fruchtbar machen. [A 281]

---

[1]) s. Dr. Reinau, Höchstleistungen des Sonnenmotors, Mitteilungen der D. L. G. 1920.

[2]) Mit Ausnahme der wertvollen Göttinger Arbeiten v. Seelhorsts und seiner Schule. Der Wassermultiplikator ist vorerst nur in der Größenordnung ungefähr bestimmt; trotz seiner hohen Bedeutung sind die inneren Gründe für seinen Zahlenwert und die Bedingungen seiner Änderung im wesentlichen unerforscht. Für den vorliegenden Zweck genügt der Mittelwert.

Über die mathematischen Grundlagen der Nomographie.

Von Prof. Dr. L. Bieberbach, Berlin.

Der Aufsatz enthält in möglichst elementarer Fassung die mathematischen Grundlagen der Fluchtlinientafeln in einfachen und ein wenig verwickelteren Fällen. Er enthält darüber hinaus einen knappen Überblick über einige weitere Verfahren und einige Andeutungen über die Möglichkeit, sie auszubauen.

Gegenstand der Nomographie ist die zeichnerische Behandlung gesetzmäßiger Abhängigkeiten zwischen Veränderlichen, oder anders ausgedrückt, die zeichnerische Behandlung natürlicher oder technischer Vorgänge. Die Nomographie ist somit eine Weiterführung der einfachen zeichnerischen Darstellungen in Diagrammen aller Art, wie z. B. Spannungskurven, zeichnerischen Fahrplänen und dergl. mehr. Handelt es sich aber in diesen Fällen immer um die gesetzmäßige Abhängigkeit zwischen zwei Veränderlichen, von denen in unseren Beispielen die eine der Weg oder die Zeit ist, so stellt sich die Nomographie als Teilgebiet der mathematischen Wissenschaft die Aufgabe, geeignete, d. h. für die Praxis brauchbare, zeichnerische Darstellungen des Zusammenhanges zwischen mehreren Veränderlichen zu entwickeln. Es ist nun ein glücklicher Umstand, daß die mathematische Wissenschaft in dem Augenblick, wo die deutsche Technik auf die Nomographie aufmerksam wird, wo sogar die Technischen Hochschulen beginnen[1]), auch in ihren Vorlesungen und Übungen der Nomographie Beachtung zu schenken, diese schon als ein wohl entwickeltes Lehrfach den begierigen Händen darbieten kann.

Ich beginne mit einem Beispiel, das ich dem kürzlich erschienenen nützlichen Buche von Dr.-Ing. O. Lacmann: Die Herstellung gezeichneter Rechentafeln (Julius Springer) entnehme. Es handelt sich um die Berechnung von Grundwehren nach Wex. Dazu dient die Formel

$$Q = B\,(1{,}77\,\sqrt{H_1^3} + 2{,}35\,H_2\,\sqrt{H_1}).$$

In ihr bedeutet Q die sekundliche Wassermenge in Raummetern, B die Breite des Wehres, H_1 die Höhe des Oberwasserspiegels über dem Unterwasserspiegel und H_2 die Höhe des letzteren über dem Wehrrücken. In Abb. 1 ist $B = 1$ m angenommen. Die Verwendung der Zeichnung geschieht folgendermaßen: Kennt man z. B. H_1 und H_2 und will Q bestimmen, so sucht man sich auf der krummen Linie den Punkt, an dem der betreffende Wert von H_1 steht und auf der rechten Senkrechten den Punkt H_2. Durch beide Punkte legt man eine Gerade, bringt diese mit der linken Senkrechten zum Schnitt und liest da den gewünschten Wert von Q ab. Entsprechend verfährt man, wenn Q und H_1 oder Q und H_2 gegeben sind.

Hat man dies Nomogramm einmal zur Hand, so wird man gern in jedem einzelnen Falle dazu greifen. Hat man es aber nicht zur Verfügung, so wird sich die Herstellung nur lohnen, wenn man recht viele in ihm dargestellte Einzelrechnungen auszuführen hat. Denn zur Herstellung des Nomogrammes muß man, ebenso wie bei den gewöhnlichen zeichnerischen Darstellungen, eine größere Zahl zusammengehöriger Wertetripel berechnen. Man kann z. B. so vorgehen: Die beiden senkrechten Skalen sind gleichmäßig geteilt, allerdings in verschiedenen Maßstäben, aber jede ist für sich gleichmäßig geteilt. Diese denken wir uns gegeben, ohne die Frage zu erörtern, warum man diese Skalen gerade in diesen Maßstäben und nicht in andern geteilt hat und warum man die Skalen statt gleichläufig gegenläufig genommen hat. Das sind Einzelheiten der technischen Ausführung, der zweckmäßigen Anordnung der Zeichnung, die hier, wo es sich um einen grundsätzlichen Überblick handelt, zurücktreten mögen. Wir denken uns also diese beiden senkrechten Skalen gezeichnet und stellen uns die Aufgabe, die krummlinige Skala zu finden, auf der die H_1 abgelesen werden. Zu dem Zwecke nehmen wir einen Wert von H_1 heraus und erhalten dann in unserer Formel eine lineare Gleichung zwischen Q und H_2. Ich nehme z. B. $H_1 = 1{,}0$ und erhalte dann die lineare Gleichung

$$Q = 1{,}77 + 2{,}35\,H_2.$$

Aus ihr entnehme ich, daß

$$(H_1 = 1{,}00,\ H_2 = 1{,}00,\ Q = 4{,}12) \text{ und } (H_1 = 1{,}00,\ H_2 = 2{,}00,\ Q = 6{,}47)$$

zwei der Gleichung genügende Wertetripel sind. Das erste lehrt, daß die drei darin vorkommenden Punkte in gerader Linie liegen, ebenso das zweite Wertetripel. Zeichnet man diese beiden geraden Linien, wozu man ja nur die beiden darin vorkommenden Punktepaare auf den Senkrechten nötig hat, so schneiden sich diese Geraden in dem Punkte 1,00 der krummlinigen Skala. In diesem Sachverhalt steckt ein einfacher mathematischer Satz, der seinerseits wieder die ganze Theorie dieser Art von Nomogrammen enthält. Es ist ein Satz aus der Lehre von den Linienkoordinaten, um den es sich handelt. Denn tatsächlich verwendet man hier eine Auffassung der Q und H_2 als Linienkoordinaten. Sie sind auf den beiden senkrechten zueinander parallelen Skalen aufgetragen. Durch ein Wertepaar Q und H_2 ist immer eine gerade Linie bestimmt: Sie ist festgelegt durch ihre Abschnitte auf den beiden Senkrechten. Die Wexsche Formel wird eine

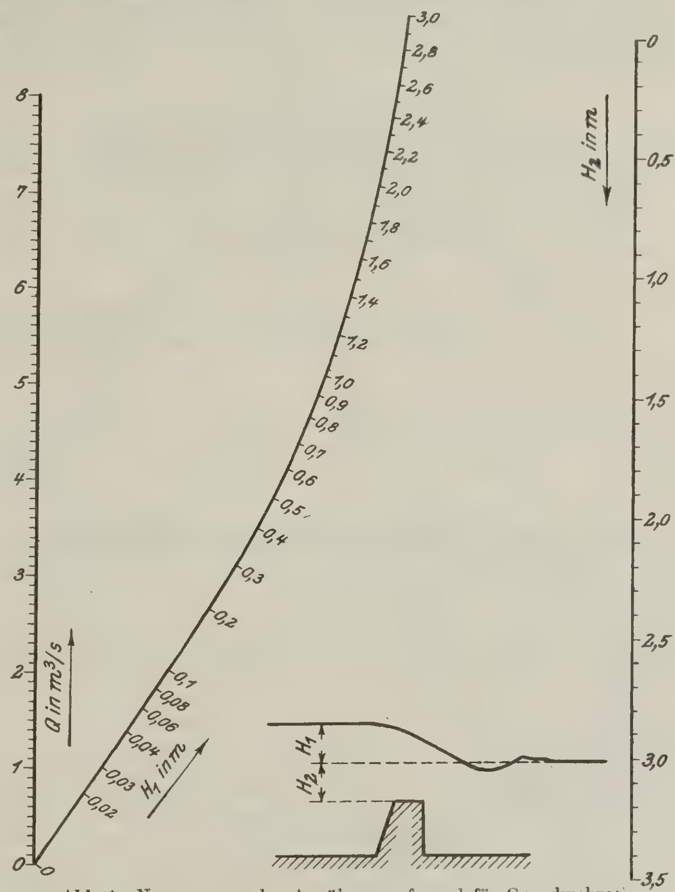


Abb. 1. Nomogramm der Annäherungsformel für Grundwehre: $Q = 1{,}77\,(\sqrt{H^3_1} + 2{,}35\,H_2\,\sqrt{H_1})$

lineare Gleichung zwischen den Linienkoordinaten Q und H_2, sowie man H_1 einen bestimmten Wert gibt. Zu jedem H_1 gehört so eine lineare Gleichung, und in dem Nomogramm gehört zu jedem H_1 ein Punkt auf der krummen Skala.

Man wird vermuten, daß die lineare Gleichung zwischen Linienkoordinaten zum Ausdruck bringt, daß alle die geraden Linien, deren Abschnitte (Koordinaten) dieser linearen Gleichung genügen, durch einen Punkt gehen, der dann durch den gegebenen Wert von H_1 festgelegt ist, und an dem wir uns daher den Wert von H_1 vermerken, der verwendet wurde. Der eben erwähnte mathematische Satz über lineare Gleichungen zwischen Linienkoordinaten gehört zu den Elementen der analytischen Geometrie. Man kann ihn am raschesten beweisen, wenn man das aus Abb. 2 ersichtliche kartesische Hilfskoordinatensystem einführt. Ein Punkt Q in der linken Skala hat in ihm die Koordinaten $\xi = -\delta$, $\eta = l_1 Q$, wofern man mit l_1 das Verhältnis der Maßstäbe bezeichnet, die auf der Q-Skala und anf der η-Achse gelten. Ebenso bekommt ein Punkt H_2 der rechten Skala die Koordinaten $\xi = \delta$, $\eta = l_2 H_2$, wo l_2 eine entsprechende Bedeutung hat. Soll dann eine gerade Linie mit der Gleichung

$$a\,\xi + b\,\eta + 1 = 0$$

Abb. 2. Kartesisches Hilfskoordinatensystem.

[1]) Dies entnehme ich dem in dieser Hinsicht beachtenswerten Aufsatz von R. Rothe in „Wirtschaft" 1923/24 S. 27.

durch den Punkt (x, y) gehen, so muß die Beziehung

$$a x + b y + 1 = 0$$

bestehen. Soll sie durch den Punkt $(-\delta, l_1 Q)$ gehen, so muß

$$-a\delta + b l_1 Q + 1 = 0$$

sein. Soll sie endlich noch durch einen Punkt $(\delta, l_2 H_2)$ gehen, so muß noch

$$a\delta + b l_2 H_2 + 1 = 0$$

sein. Sollen alle drei Gleichungen bei passender Wahl der (a, b) auf einmal gelten, so muß ihre Determinante

$$\begin{vmatrix} x & y & 1 \\ -\delta & l_1 Q & 1 \\ \delta & l_2 H_2 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

sein. Dies ist somit die Bedingung dafür, daß drei Punkte (x, y), $(-\delta, l_1 Q)$, $(\delta, l_2 H_2)$ auf einer geraden Linie liegen. Rechnet man die Determinante aus, so erkennt man, daß sie eine lineare Gleichung zwischen den Abschnitten Q und H_2 darstellt. Man findet nämlich

$$2\delta y + l_1 Q (x - \delta) - l_2 H_2 (x + \delta) = 0,$$

und das ist offenbar die allgemeinste lineare Gleichung zwischen den Abschnitten. Denn man kann ihr durch passende Wahl der

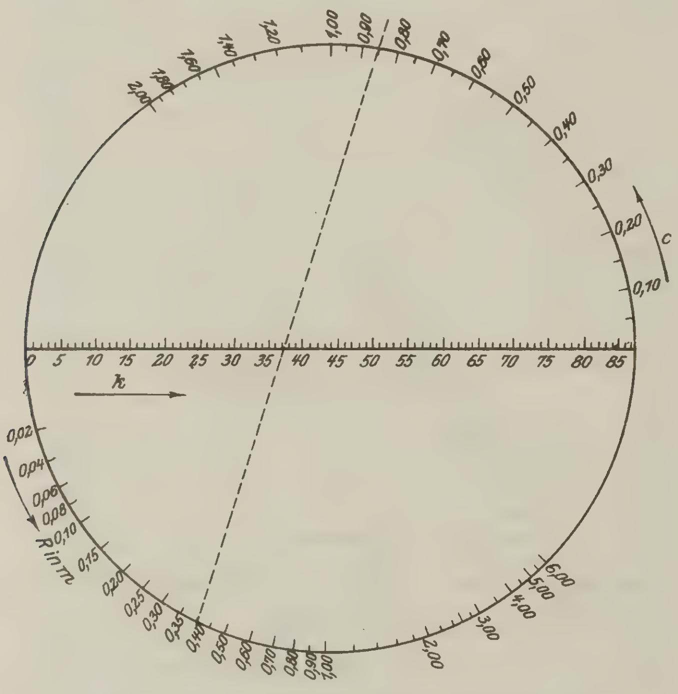


Abb. 3. Fluchtlinientafel der Bazinschen Formel: $k = \dfrac{87}{1 + \dfrac{c}{\sqrt{R}}}$.

x und y beliebige Beiwerte verschaffen. Will man insbesondere die Wexsche Formel $(B = 1)$ gewinnen, so muß man

$$\frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{x + \delta}{x - \delta} = 2{,}35 \sqrt{H_1}; \quad \frac{-2\delta y}{l_1 (x - \delta)} = 1{,}77 \sqrt{H_1^3}$$

setzen. Das heißt also: Bei gegebenem H_1 gehen alle Geraden, deren Abschnitte die zugehörige Wexsche Formel erfüllen, durch den Punkt

$$\xi = \delta \frac{l_1 \cdot 2{,}35 \sqrt{H_1} + l_2}{l_1 \cdot 2{,}35 \sqrt{H_1} - l_2}, \quad \eta = \frac{1{,}77\, l_2}{l_1 \cdot 2{,}35 \sqrt{H_1} - l_2} \sqrt{H_1^3}$$

hindurch, und das wollten wir gerade beweisen.

Diese Art von Nomogrammen, die man **Fluchtlinientafeln** zu nennen pflegt, gründen sich also auf den Satz, daß eine lineare Gleichung zwischen Linienkoordinaten einen Punkt darstellt. Geometrisch wird hiernach die Zusammengehörigkeit der Zahlen eines Zahlentripels daran erkannt, daß die zugehörigen Punkte der drei Skalen auf einer geraden Linie liegen.

Es ist für die Fluchtlinientafeln nicht kennzeichnend, daß die in der Abbildung vorhandenen Skalen geradlinig sind. Vielmehr können die geradlinigen Skalen, auf denen das mathematische Prinzip der Fluchtlinientafel beruht, zur Darstellung von Hilfsgrößen dienen, die in die fertige Abbildung nicht aufgenommen werden, während in dieser der Zusammenhang zwischen anderen Größen dargestellt wird. Ein Beispiel dafür entnehme ich wieder dem Buche von Lacmann, wo die **Bazinsche** Formel

$$k = \frac{87}{1 + \dfrac{c}{\sqrt{R}}}$$

dargestellt wird. Um zu zeigen, daß sie auch auf dem genannten Prinzip beruht, schreiben wir sie in Determinantenform:

$$\begin{vmatrix} \dfrac{1}{1+c^2} & \dfrac{c}{1+c^2} & 1 \\ \dfrac{R}{1+R} & \dfrac{-\sqrt{R}}{1+R} & 1 \\ \dfrac{k}{87} & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Dann besagt sie also, daß die drei Punkte

$$\xi = \frac{1}{1+c^2}, \quad \eta = \frac{c}{1+c^2}$$
$$\xi = \frac{R}{1+R}, \quad \eta = \frac{-\sqrt{R}}{1+R}$$
$$\xi = \frac{k}{87}, \quad \eta = 0$$

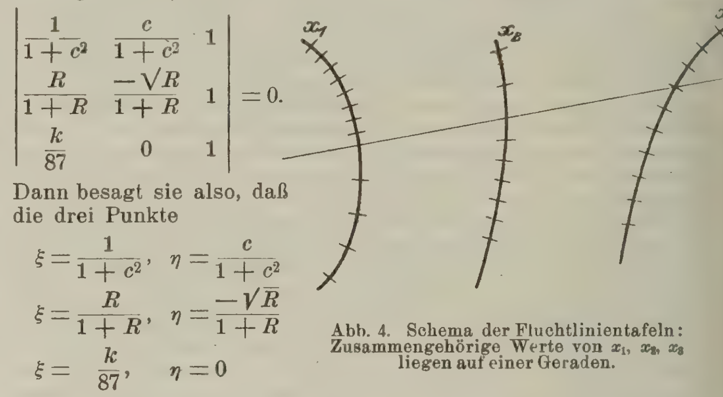


Abb. 4. Schema der Fluchtlinientafeln: Zusammengehörige Werte von x_1, x_2, x_3 liegen auf einer Geraden.

in gerader Linie liegen. Läßt man sich c ändern, so beschreiben die Punkte

$$\xi = \frac{1}{1+c^2}, \quad \eta = \frac{c}{1+c^2}$$

einen Kreis, wenn man sich die ξ, η als rechtwinklige Koordinaten deutet. Dasselbe gilt von R. Nur der dritte Punkt wandert noch in gerader Linie. So erhält man die Fluchtlinientafel, Abb. 3.

Das allgemeine Schema einer Fluchtlinientafel ist in Abb. 4 dargestellt.

Noch ein letztes Beispiel einer Fluchtlinientafel soll angeführt werden: Das Nomogramm der quadratischen Gleichung

$$z^2 + x z + y = 0$$

zeigt Abb. 5. Auch das Nomogramm hierzu läßt sich wie eine Fluchtlinientafel entwerfen. Man erkennt das, wenn man die quadratische Gleichung in Determinantenform schreibt:

$$\begin{vmatrix} \delta\dfrac{1-z}{1+z} & \dfrac{-z^2}{1+z} & 1 \\ -\delta & x & 1 \\ \delta & y & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

In allen Fällen, in denen man den Zusammenhang zwischen drei Veränderlichen x_1, x_2, x_3 auf die Determinantenform

$$\begin{vmatrix} f_1(x_1) & g_1(x_1) & 1 \\ f_2(x_2) & g_2(x_2) & 1 \\ f_3(x_3) & g_3(x_3) & 1 \end{vmatrix} = 0$$

bringen kann, ist die Darstellung durch eine Fluchtlinientafel möglich. Sie ent-

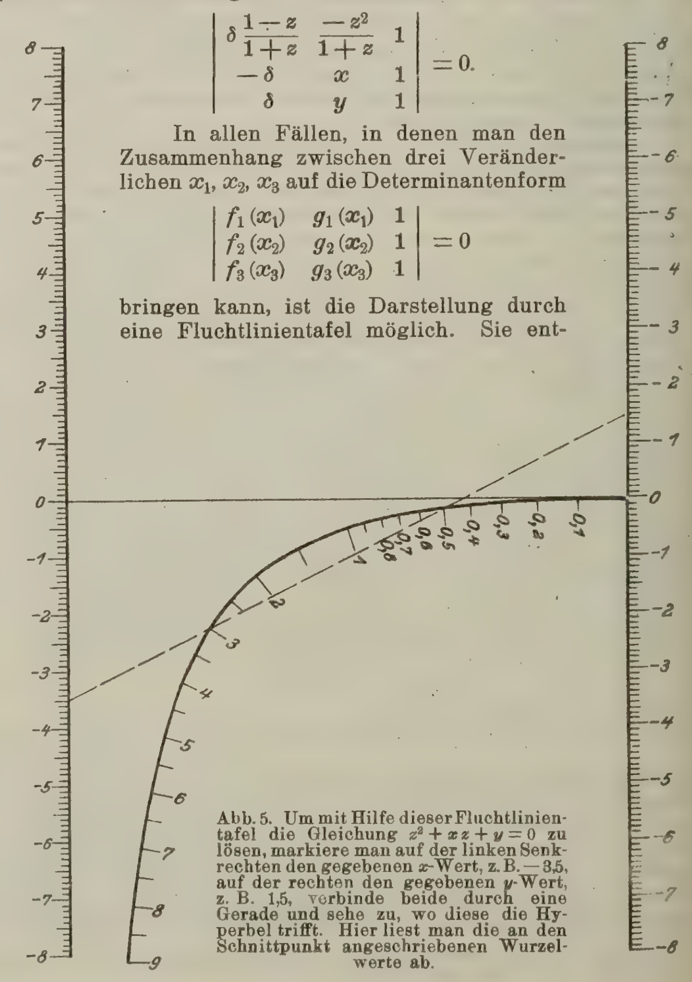


Abb. 5. Um mit Hilfe dieser Fluchtlinientafel die Gleichung $z^2 + xz + y = 0$ zu lösen, markiere man auf der linken Senkrechten den gegebenen x-Wert, z. B. $-3{,}5$, auf der rechten den gegebenen y-Wert, z. B. 1,5, verbinde beide durch eine Gerade und sehe zu, wo diese die Hyperbel trifft. Hier liest man die an den Schnittpunkt angeschriebenen Wurzelwerte ab.

hält dann, wie schematisch die Abb. 4 zeigt, drei Skalen, nämlich als erste Skala

$$\xi = f_1(x_1),\quad \eta = g_1(x_1),$$

als zweite

$$\xi = f_2(x_2),\quad \eta = g_2(x_2)$$

und als dritte

$$\xi = f_3(x_3),\quad \eta = g_3(x_3).$$

Zusammengehörige Punkte der drei Skalen liegen auf einer Geraden.

Den Fluchtlinientafeln stehen, geometrisch ausgedrückt, dual gegenüber die Kurvenkreuzungstafeln. Während bisher jedem Variablenwert ein Punkt entsprach, wird jetzt jedem Variablenwert eine Kurve zugeordnet, und die Zuordnung zwischen den Variablenwerten wird dadurch hergestellt, daß drei Kurven durch einen Punkt gehen, während bisher drei Punkte in gerader Linie lagen. Von unserem Standpunkt aus mag es merkwürdig scheinen, daß diese Kurvenkreuzungstafeln die älteren sind, und daß sie noch heute von falschen Propheten als die einzig zweckmäßigen angepriesen und dazu benutzt werden, die Nomographie in Mißkredit zu bringen. Indessen hat dies einen sehr natürlichen Grund. Der Grund dafür und der Mangel der Kurvenkreuzungstafeln wird sofort einleuchten, wenn wir uns nur kurz z. B. die Kurvenkreuzungstafel für die quadratische Gleichung

$$z^2 + xz + y = 0$$

ansehen. Jetzt deuten wir die x und y als rechtwinklige kartesische Koordinaten. Jedem Wert von x entspricht alsdann eine Gerade als Ort der Punkte, wo x einen festen Wert hat. Jedem Wert von y entspricht ebenfalls eine Gerade als Ort der Punkte, wo y einen festen Wert hat. Jedem Wert von z endlich entspricht eine gerade Linie mit der Gleichung

$$z^2 + xz + y = 0.$$

In Abb. 6 sind diese geraden Linien aufgezeichnet, und der erste Eindruck wird sein, daß man es hier mit einer viel unübersichtlicheren Darstellung zu tun hat. Namentlich ist das Zwischenschalten von Werten in einer solchen Tafel schwierig. Die Fluchtlinientafeln haben den Vorteil größerer Übersichtlichkeit und größerer Leichtigkeit des Zwischenschaltens. Aber es liegt näher, die x und y als Punktkoordinaten statt als Linienkoordinaten zu deuten, und daher kommt es, daß man die Kurvenkreuzungstafeln zuerst erfand.

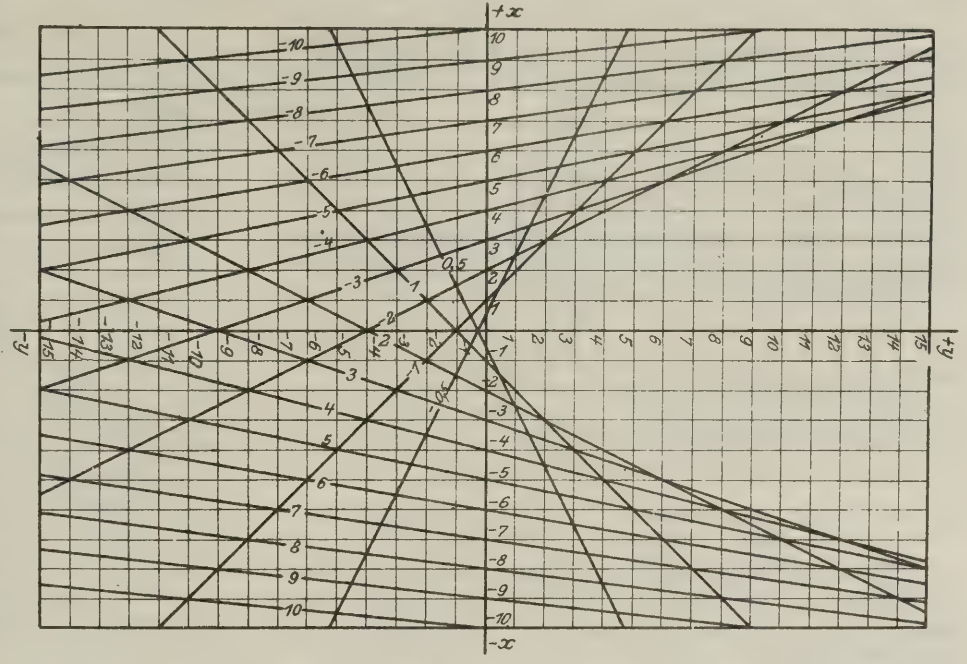


Abb. 6. Um mit Hilfe dieses Nomogramms mit Kurvenkreuzung die Gleichung $z^2 + xz + y = 0$ nachzuweisen, stelle man zunächst im x-y-Koordinatensystem den Punkt fest, dessen Koordinaten den gegebenen Koeffizienten gleich sind. Dann sehe man, welche schiefen Geraden durch diesen Punkt gehen. Die stehenden Zahlen geben die Wurzeln an.

Die Kurvenkreuzungstafeln werden heute noch viel verwendet. Das liegt auch daran, daß der Anwendungsbereich der Kurvenkreuzungstafeln in der Tat ein allgemeinerer ist, als der der Fluchtlinientafeln. Diese würden erst dann zur gleichen Anwendungsfähigkeit gelangen, wenn man statt einer geraden Linie zur Herstellung des Funktionszusammenhanges beliebige krumme Linien zuließe. Das ist auch hie und da versucht worden. Doch möchte ich auf diese noch wenig ausgebildeten Verfahren hier nicht eingehen. Auch die Möglichkeit, einen beliebigen Funktionszusammenhang durch eine Fluchtlinientafel genähert darzustellen, erwähne ich nur beiläufig als einen weiteren Umstand, der den Anwendungsbereich der Fluchtlinientafeln wesentlich erweitert.

Abb. 7. Darstellung der Kutter-Ganguilletschen Formel durch Kurvenkreuzungs- und Fluchtlinientafel.

Geschichtlich hat jedenfalls die Nomographie erst in dem Augenblick ihren Aufschwung genommen, als der französische Ingenieur D'Ocagne die Fluchtlinientafeln, auf die schon Moebius 1841 aufmerksam gemacht hatte, wieder entdeckte. Gerade die von ihm bevorzugte Verwendung der Parallelkoordinaten hat seinen Bemühungen einen größeren Erfolg beschieden, als den gleichzeitigen Arbeiten des Wiener Mathematikers Adler, der sich der Plückerschen Linienkoordinaten bediente.

Für die praktische Herstellung der Fluchtlinientafeln muß man nun ein Verfahren besitzen, um einen gegebenen Funktionszusammenhang in die Form der vorhin benutzten dreireihigen Determinante zu bringen. Hier ist die praktische Mathematik noch nicht zu endgültigen Ergebnissen gelangt. Zwar haben die Arbeiten von Gronwall[1]) und Kellog[2]) die Bedingungen festgestellt, die bestehen müssen, wenn sich ein gegebener Funktionszusammenhang durch eine Fluchtlinientafel darstellen lassen soll. Die Arbeiten lehren auch, wie man sämtliche für die Darstellung möglichen Fluchtlinientafeln findet. Indessen fehlt noch eine für praktische Zwecke bequeme Durcharbeitung dieser Verfahren. Hier will ich nur noch auf das Verfahren hinweisen, das D'Ocagne selbst benutzt hat; es ist von Clark[3]) erläutert worden. Man bringe danach zunächst die gegebene Gleichung auf die Form

$$\varphi_1(x_1)\,\psi_1(x_2, x_3) + \varphi_2(x_1)\,\psi_2(x_2, x_3) + \psi_3(x_2, x_3) = 0,$$

alsdann setze man

$$u = \frac{\psi_1}{\psi_3},\quad v = \frac{\psi_2}{\psi_3}$$

und sondere nacheinander x_2 und x_3 aus diesen beiden letzten Gleichungen aus. Wenn sich so noch zwei lineare Gleichungen zwischen u und v ergeben, so ist die Darstellung durch eine Fluchtlinientafel möglich.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen vier und mehr Veränderlichen bietet sich sofort der Gedanke einer Zusammensetzung mehrerer Nomogramme für drei Veränderliche. Zwar ist es ein bekannter Satz, daß solche Darstellungen nicht bei jedem Funktionszusammenhang zwischen mehreren Veränderlichen möglich sind; überdies ist auch die Frage nach den theoretischen Bedingungen für die Möglichkeit einer solchen Darstellung noch völlig ungeklärt; gleichwohl hat man hiermit in vielen Beispielen die schönsten Ergebnisse erzielt.

[1]) Liouvilles Journal ser. 6, Bd. 8 (1912).
[2]) Ztschr. für Math. u. Phys. Bd. 63 (1915).
[3]) Revue de mécanique Bd. 21 und 22.

Auch eine Kombination von Kurvenkreuzung und Fluchtlinientafel wird verwendet. Hierfür gebe ich noch ein Beispiel, das ich wieder dem Buche von Lacmann entnehme: Die Kutter-Ganguilletsche Formel

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

wird durch Abb. 7 dargestellt. Ihr mathematisches Prinzip übersieht man sofort, wenn man die Formel in Form einer dreireihigen Determinante schreibt. So ergibt sich

$$\begin{vmatrix} 0 & \sqrt{R} & 1 \\ c & 0 & 1 \\ -n\left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) & 23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J} & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Sie besagt also wieder, daß die Punkte

$$\xi = 0, \quad \eta = \sqrt{R};$$
$$\xi = c, \quad \eta = 0$$

und $$\xi = -n\left(23 + \frac{0,00155}{J}\right), \quad \eta = 23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}$$

in gerader Linie liegen. Die beiden ersten Punkte ergeben je eine geradlinige Skala, von denen allerdings die eine nicht regelmäßig geteilt ist. Hier sind die Werte $\sqrt{R}$ aufgetragen. Für den dritten Punkt

$$\xi = -n\left(23 + \frac{0,00155}{J}\right), \quad \eta = 23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}$$

ergibt sich eine sogenannte binäre Skala. Konstantes n ergibt eine Kurvenschar und konstantes J eine zweite. Man findet den einzustellenden Punkt (n, J), indem man die Kurven, die den betreffenden Werten von n und J entsprechen, zum Schnitt bringt. Die Zuordnung geschieht wieder durch eine gerade Linie.

Einige Quellenangaben lasse ich folgen:

D'Ocagne, Traité de nomographie 2. ed., Paris 1921,
„ Calcul graphique et nomographie, Paris 1914,
„ Principes usuels de nomographie avec applications à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation, Paris 1920.
Lacman: Die Herstellung gezeichneter Rechentafeln, Berlin 1913.
Konorski, Die Grundlagen der Nomographie, Berlin 1923.
Krauß, Die Nomographie oder Fluchtlinienkunst, Berlin 1912.
Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. I, Artikel Mehmke.
Luckey, Einführung in die Nomographie, Bd. I 1918, Bd. II 1920.
Pirani, Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik (Sammlung Goeschen).
Bieberbach, Über Nomographie. Die Naturwissenschaften 1923, Heft 36. [A 24]

Kriegsschiffbau im Jahre 1923.

England.

Man baut in England heute an den beiden Ende 1922 auf Stapel gelegten Linienschiffen „Nelson" und „Rodney", deren Stapellauf durch den Streik der Kesselarbeiter hinausgeschoben worden ist. Diese Schlachtschiffe haben 207 m Länge, 32,3 m Breite und 35 000 t Verdrängung. Sie werden neun 40,7 cm-Geschütze in drei Tripeltürmen führen. Die Torpedowulste hat man aufgegeben und baut nach deutschem Vorbild Torpedoschotte ein.

Die Kleinen Kreuzer „Frobisher" und „Effingham" (10 000 t) sowie „Enterprise" und „Emerald" (7700 t) sind noch immer unvollendet, und es ist fraglich, ob sie in diesem Jahre fertig werden.

17 neue Kleine Kreuzer von je 10 000 t Verdrängung, ausgerüstet mit 20 cm-Geschützen, will man in den nächsten Jahren anfordern, aus der Erwägung heraus, daß die englischen Kleinen Kreuzer heute zum großen Teil veraltet sind, und daß Seemächte wie Japan, Amerika und Frankreich über sehr leistungsfähige Kleine Kreuzer verfügen oder solche im Bau haben. Über den Minenkreuzer „Adventure", der im November 1922 in Devonport begonnen wurde, und den ein Jahr früher in Chatam begonnenen Unterseekreuzer X 1 ist wenig bekannt geworden. X 1 soll über Wasser 2800 und unter Wasser 3650 t verdrängen. Damit ist dieses U-Boot das größte von allen, die bisher gebaut wurden. Da es Dieselmotoren erhält, ist seine Geschwindigkeit geringer als die der als Fehlbau anzusehenden K-Klasse, die mit ihrer Turbinenanlage 24 kn über Wasser erreicht.

An den Flugzeugmutterschiffen wird weiter umgebaut, ohne daß über Einzelheiten etwas veröffentlicht wurde.

Vereinigte Staaten.

Mit Fertigstellung von „Colorado" und „West Virginia" im vorigen Jahre haben die Vereinigten Staaten zusammen sechs Schlachtschiffe mit turboelektrischem Antrieb im Dienst. Nach den vielbeachteten Feststellungen von J. C. Shaw von der bekannten Werft Wm. Cramp and Sons schneidet dieser Antrieb beim Vergleich mit Zahnradantrieb sehr schlecht ab. Nach Shaw ist der Ölverbrauch beim turboelektrischen Antrieb für die Pferdekraft im allgemeinen 30 vH größer als beim Zahnradantrieb, und zwar bei hoher Geschwindigkeit um 18 vH, bei mittlerer um 22 vH und bei niedriger Geschwindigkeit (10 Kn) gar um 90 vH größer. Bisher hörte man von amerikanischer Seite nur Lobendes über den turboelektrischen Antrieb, was auch andere Seemächte veranlaßte, diesen Antrieb wenigstens bei billigen Handelsschiffen probeweise anzuwenden. Nach Shaw ist außer dem hohen Brennstoffbedarf die hohe Spannung eine dauernde Gefahrquelle, da die Nässe an Bord leicht zu Kurzschlüssen Anlaß geben kann. Sechs Kleine Kreuzer der Omaha-Klasse sind im vergangenen Jahr in Dienst gestellt worden. Sie sind mit 34 kn Geschwindigkeit z. Zt. die schnellsten Kleinen Kreuzer der Welt. Diese Schiffe verdrängen 7500 t, haben Getriebeturbinen, je 12 Wasserrohrkessel, vier Schrauben und zwölf 15 cm-Geschütze erhalten. Da man voraussichtlich demnächst hauptsächlich Kleine Kreuzer von 10 000 t Verdrängung, bestückt mit 20 cm-Geschützen, bauen wird, werden vom Kongreß 8 dieser Schiffe gefordert. Außerdem will man 6 flachgehende Kanonenboote für China und drei große Unterseeboote bauen. Die ursprünglich als Schlachtkreuzer gedachten Schiffe „Lexington" und „Saratoga" werden als Flugzeugmutterschiffe umgebaut.

Japan,

dessen Schlachtschiffprogramm durch den Washington-Vertrag umgestürzt wurde, baut jetzt auch eine große Anzahl Kleiner Kreuzer. Offiziell zwei zu 7100 t, 5 zu 5500 t und einen zu 3100 t, außerdem sind vorgesehen: 4 zu 10 000 t und 2 zu 7100 t. Die 10 000 t-Schiffe erhalten 20 cm-, die übrigen 15 cm-Geschütze. Daneben werden an Torpedobooten 7 zu 1400 t, 18 zu 1500 t und 4 zu 900 t gebaut. An Unterseebooten sind 50 in Bau bzw. vorgesehen. Das beim Erdbeben vernichtete Flugzeugmutterschiff „Amagi" muß verschrotet werden. An seiner Stelle ist das frühere Schlachtschiff „Kaga" zum Flugzeugmutterschiff bestimmt worden. Auch „Akagi", ein Schwesterschiff der ursprünglich als Schlachtkreuzer gedachten „Amagi", wird zu einem Flugzeugmutterschiff ausgebaut. Den ebenfalls beim Erdbeben beschädigten Kleinen Kreuzer „Naka" hofft man ausbessern zu können.

Frankreich.

An den Kleinen Kreuzern „Duquay-Tronin", „Primaquet" und „La Motte-Picquet" wird jetzt eifrig gebaut. Diese Schiffe haben 175 m Länge, 17,4 m Breite und bei 8000 t Verdrängung 7,35 m Tiefgang. Mit 96 000 Wellen-PS sollen sie 34 kn Geschwindigkeit erreichen. Acht 15,7 cm-Geschütze in vier Türmen, vier 7,6 cm-Flugzeugabwehrgeschütze und zwölf 55 cm-Decktorpedorohre sind vorgesehen. Ein kleines Aufklärflugzeug ist auf einer Plattform auf der Backbordseite untergebracht. Sechs starke Zerstörer von 2400 t Verdrängung, die mit 48 000 Wellen-PS 35,5 kn laufen und die starke Bestückung von 6 13 cm-Geschützen und 4 Torpedorohren führen sollen, sind im Bau, von denen das Typschiff „Jaguar" vom Stapel gelaufen ist. Außerdem sind zwölf schwächere Zerstörer von 1400 t Verdrängung und 6 Unterseeboote von 1100 t sowie 6 kleine von 690 t Verdrängung im Bau.

Das frühere Schlachtschiff „Béarn" wird in ein Flugzeugmutterschiff umgebaut. Einen großen Flottenzuwachs an Kleinen Kreuzern, Zerstörern und U-Booten sieht der weitere französische Bauplan vor, darunter 6 Kreuzer von 10 000 t.

Italien und Spanien.

Italien will 5 Kleine Kreuzer, 20 Zerstörer und die gleiche Zahl Unterseeboote bauen. Spanien baut die Kleinen Kreuzer „Don Blas Lezo" und „Mendez Nunez" von 4800 t Verdrängung und 29 kn Geschwindigkeit. Zwei weitere Kreuzer von etwa 8000 t Verdrängung und 33 kn Geschwindigkeit sollen voraussichtlich gebaut werden. Hinzu kommen eine Reihe von Zerstörern und Unterseebooten.

Deutschland

baut noch immer an dem Kleinen Kreuzer „Dresden" von 5600 t Verdrängung.

Dieser Bericht, den wir dem „Engineer" vom 4. Januar 1924 entnehmen, zeigt, daß der Kleine Kreuzer von 10 000 t Verdrängung, bestückt mit 20 cm-Geschützen und möglichst hoher Geschwindigkeit, heute mit Rücksicht auf den Washingtonvertrag bevorzugt wird.

[M 196] Dr. W. S.

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Wasserkraftanlagen.

Entwicklung der Wasserkraft-Elektrizitätswerke in den Vereinigten Staaten.

Anläßlich der Sitzung der American Society of Mechanical Engineers im Dezember vorigen Jahres in New York hielt John R. Freeman einen längeren Vortrag über die Entwicklung der Wasserkraft-Elektrizitätswerke, der, obwohl nur auf Amerika bezogen, in vieler Hinsicht allgemeines Interesse beansprucht, besonders in einer Zeit, wo der Ausbau der Wasserkräfte in Deutschland eine der wichtigsten und umstrittensten Tagesfragen darstellt. Einige Worte mögen zuvor die Persönlichkeit des Vortragenden kennzeichnen. Freeman, ein Schüler des Massachusetts Institute of Technology, blickt heute auf eine mehr als fünfzigjährige Tätigkeit als Bauingenieur zurück und war als beratender Ingenieur tätig bei vielen der bedeutendsten Wasserkraft- und Wasserstraßenanlagen Amerikas und Asiens, z. B. des Charles-River-Dammes, des Hafenbaues in Boston, des Keokuk-Dammes, der Feather-River- und St. Lorenz-Wasserkraftanlagen, des Panama-Kanals, der Wiederherstellung des großen Kanals in Shantung und Regulierung des Hoangho. Er war Präsident der American Society of Mechanical Engineers und der American Society of Civil Engineers und ist Mitglied der Akademie für Kunst und Wissenschaft der V. St. v. A. Seine langjährigen und vielseitigen Erfahrungen geben seinen Ausführungen besonderen Wert, zumal da sie nicht nur den rein technischen, sondern auch den wirtschaftlichen und wirtschaftspolitischen Standpunkt betreffen. Im folgenden soll daher ein Auszug des Vortrages mit gelegentlichen Hinweisen auf abweichende Verhältnisse in Deutschland wiedergegeben werden[1]).

Die zwei Grundbedingungen für einen hydroelektrischen Ausbau sind:

1. daß er für die festgelegten Kapitalien Gewinn bringen,
2. daß er im höchsten Grade zur öffentlichen Wohlfahrt beitragen muß.

In jedem Fall ist zu untersuchen, ob und wie weit diese beiden Forderungen erfüllbar sind. Der Kampf zwischen Dampf und Wasser zieht sich wie ein roter Faden durch die gesamte Geschichte der Wasserturbinen-Kraftwerke hin. Mit Hilfe einiger Vergleichzahlen kommt Freeman zunächst zu dem überraschenden Ergebnis, daß sich die Kosten der Krafterzeugung in den letzten 50 Jahren nur unwesentlich geändert haben. Als Durchschnitt gibt er — soweit man überhaupt Durchschnittswerte für derartige Größen gelten lassen kann — 1 c/kWh oder 22 $/PS-Jahr bei 10stündiger Betriebzeit und 300 Arbeitstagen für Wasser- sowie für Dampfturbinen an. Große moderne Kolbendampfmaschinen brauchen etwa 30 $/PS-Jahr, während einige große Wasserkraftwerke ihre Kraft bei günstigsten Bedingungen und Belastungsfaktoren für 6,6 $/PS-Jahr am Schaltbrett abgeben zu können behaupten. Der Grund für die Unveränderlichkeit der Krafterzeugungskosten ist, daß den steigenden Kohlenpreisen und Baukosten auf der andern Seite die Verbesserung und Verkleinerung der Maschinen, bezogen auf die Leistungseinheit, sowie die Ausnutzung großer Gefälle und Wassermengen entgegensteht. Die Erfahrungen deuten also darauf hin, daß auch in den nächsten Jahrzehnten mit einer erheblichen Verbilligung der Krafterzeugung nicht zu rechnen ist.

Den ersten Anstoß zu einer intensiven Kraftausnutzung gaben vor 30 bis 40 Jahren der rasch anwachsende Bedarf an Holzstoff zur billigen Papiererzeugung und die elektrischen Fernleitungen sowie 10 Jahre später die schnelle Entwicklung der elektrochemischen Industrie, besonders die Aluminiumerzeugung. Die einschneidendste Bedeutung für die Wasserkraftwerke hat von diesen die elektrische Fernübertragung. Während früher das Wasser den an der Verbrauchstelle stehenden Turbinen zugeleitet werden mußte, kann nunmehr die Turbine an dem für den Ausbau günstigsten Platz Aufstellung finden und von dort aus die Kraft dem Abnehmer zugeführt werden. An Stelle der Wasserverteilung ist also die Kraftverteilung getreten.

Einige der hauptsächlichsten Neuerungen sind:

a) Vermeidung langer Kanäle durch Einbau des Kraftwerkes in das Wehr; dadurch wird auch eine vollkommenere Ausnutzung der Gefällhöhe ermöglicht.

b) Ausnutzung großer Gefällhöhen (mit Francisturbinen bis 250 m gegen 10 bis 13 m bei alten Anlagen), ermöglicht durch geeignete konstruktive Ausbildung der Maschinen.

c) Verwendung größerer Wehr- und Überfallhöhen (früher höchstens 10 m Wehrhöhe und 3 m Überfallhöhe, jetzt bis 33 m Wehrhöhe und beliebige Überfallhöhe).

d) Anordnung von Heberüberläufen, die das Maß der ausnutzbaren Stauhöhe in jedem gegebenen Falle vergrößern.

e) Einbau weniger großer anstatt vieler kleiner Turbinen.

f) Wegfall von Zahnradübertragungen und Transmissionen durch unmittelbare Kupplung der Turbinen mit den Stromerzeugern.

g) Verringerung der Reibungsverluste durch senkrechte Anordnung der Welle und sorgfältigste Ausbildung des Spurlagers, das meist der bequemeren Schmierung und Wartung wegen leicht zugänglich am oberen Wellenende auf dem Deckel des Stromerzeugers als Ringlager angeordnet wird.

h) Erzielung hoher Wirkungsgrade über großen Belastungsbereich, ermöglicht durch die Fortschritte im Turbinenbau.

i) Verbilligung der Turbinen und Stromerzeuger durch Anwendung hoher Umlaufzahlen.

j) Verminderung der Ein- und Austrittsverluste durch zweckmäßige Formgebung der Zuführungskanäle, Gehäuse und Saugrohre.

k) Allgemeine Einführung der Finkschen Drehschaufeln im Leitrad als Folge der zunehmenden Herstellungsgenauigkeit. Diese Drehschaufeln stießen zuerst auf Widerstand als zu verwickelt und unzuverlässig.

l) Ausführung vollkommen selbsttätiger Kraftwerke mit elektrischer Fernsteuerung.

m) Die Verwendung elektrisch geheizter Kessel in solchen Anlagen, die, wie Papier- und chemische Fabriken, Dampf zur Herstellung ihrer Erzeugnisse brauchen.

n) Die elektrische Fernübertragung ermöglicht neuen Fabriken, die von ihnen gebrauchte Kraft sozusagen fertig zu kaufen, ohne selbst große Geldbeträge in Krafterzeugungsanlagen festlegen zu müssen. Dabei ist die im großen Maßstabe gewonnene Elektrizität billiger, als sie der einzelne Unternehmer erzeugen kann, so daß häufig sogar Fabriken mit Dampfkraftanlagen es vorgezogen haben, ihre Krafterzeuger stillzusetzen und zum Betrieb Elektrizität von Großkraftwerken zu beziehen.

o) Eine grundlegende Änderung hat neuerdings in der öffentlichen Meinung bezüglich der Wasserkraftwerke Platz gegriffen. Während früher derartige Anlagen für die Allgemeinheit nur insoweit von Interesse waren, als sie Arbeitsgelegenheit boten, macht sich jetzt mehr und mehr die Erkenntnis geltend, daß eine öffentliche Überwachung des Ausbaues und der Verwendung der Wasserkräfte zum Nutzen der Gesamtheit nötig ist. Der Ausbau soll dadurch mit dem Kraftbedarf in Einklang gebracht und privater Raubbau unterbunden werden. Ausschüsse mit behördlichen Befugnissen sollen dafür sorgen, daß der Kraftverbraucher nicht übervorteilt, aber auch das festgelegte Kapital nicht durch unlauteren Wettbewerb oder politische Beschlagnahme geschädigt wird. Man verspricht sich davon besseren Erfolg, als von vollkommen staatlichem Ausbau und politischer Leitung.

Die hier von Freeman angeführten Fortschritte gelten selbstverständlich nicht in dem gleichen Maße für Deutschland wie für Amerika. Z. B. Punkt a und c (Aufstau durch Wehre) kommt in Deutschland wenigstens für Großkraftwerke kaum in Betracht, da ein Aufstauen von Flachlandflüssen in dem in Amerika üblichen Umfange für unser dichtbevölkertes Land mit seinem dadurch wertvollen und teuren Boden schlechterdings unmöglich ist. Erinnert sei nur an den Ausbau der mittleren Isar, der Kanäle von mehr als 50 km Gesamtlänge erforderte, um das Isarwasser an günstige Geländestufen heranzuleiten. Die auch für deutsche Verhältnisse sehr wichtigen Talsperren dagegen erwähnt Freeman nicht; sie spielen in den Vereinigten Staaten eine große Rolle für die Bewässerung von Ackerland, und die Kraftgewinnung ist oft nur Nebenzweck. Die vollkommen selbsttätigen Stationen, Punkt l, werden in Deutschland wegen der großen Bevölkerungsdichte wohl nie eine hohe Bedeutung erlangen, und die im Punkt o zum Ausdruck kommende Furcht vor staatlicher Leitung ist gleichfalls für uns belanglos, solange wir nicht wie in Amerika bei jeder Regierungsänderung auch alle höheren Beamten wechseln.

Freeman kommt nun auf die Verbindung von Kraftwerken untereinander zu sprechen. Die meisten Naturkräfte, darunter auch die Wasserkraft, sind nicht dauernd gleichbleibend, sondern mehr oder weniger regelmäßigen Schwankungen unterworfen. Es ist daher nur in seltenen Fällen eine gleichmäßige bzw. dem Bedarf angepaßte Vollausnutzung einer einzelnen Anlage etwa mit Hilfe von Ausgleichbecken möglich. Der Zusammenschluß mehrerer Wasserkraftwerke verschiedener Flußnetze mit ungleichen Quell- und Abflußverhältnissen bedeutet diesbezüglich schon eine Verbesserung, die günstigste Lösung ist aber meist das Zusammenarbeiten von Wasserkraft- und Dampfkraftwerken, da letztere leicht und schnell allen Schwankungen des Bedarfs angepaßt werden können und somit zum Ausgleich der wechselnden Leistung der Wasserturbinen sowie zur Übernahme der Spitzenbelastungen die beste Lösung darstellen.

Für die Ausbaufähigkeit einer Wasserkraft lassen sich schwer allgemeine Regeln aufstellen, da jeder Fall seine Sonderaufgaben aufweist. Die Hauptleitsätze sind die schon erwähnten beiden: 1. Gewinn für die Geldgeber, 2. Öffentliche Wohlfahrt. Die Größe der vorhandenen Leistungsfähigkeit allein besagt gar nichts, wenn man nicht genau ihre zeitliche Verteilung über eine möglichst lange Dauer (Reihe von Jahren) kennt. Ferner müssen die Ausbaukosten von 100 bis 200 $/PS

[1]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 590: „Die Zukunft der Energiewirtschaft Deutschlands“ von G. Klingenberg.

aufgebracht werden, wozu in erster Lini eine sichere Anzahl zahlungsfähiger Kraftabnehmer erforderlich ist.

Das Problem der öffentlichen Wohlfahrt ist letzten Endes Sache des Staatsmannes, der sich allerdings auf die vom Ingenieur unterbreiteten sachlichen Unterlagen stützen muß. Ganz allgemein dient es sicherlich zum Wohle der Gesamtheit, möglichst alle Wasserkräfte auszunutzen und dadurch die erschöpfbaren Vorräte an Kohle und Erdöl zu sparen, während anderseits natürlich das Kostenverhältnis von Wasserkraft und Dampfkraft den Ausschlag gibt. Jedenfalls sollte in zweifelhaften Fällen stets der Wasserkraft der Vorzug eingeräumt werden. Kleinstadt- und Landleben sind für Volkswohl und -gesundheit entschieden dem Großstadtleben in den Industriezentren vorzuziehen. In dieser Hinsicht hat die elektrische Fernübertragung mehr schädlich als nützlich gewirkt.

Der Wert einer Wasserkraft muß je nach der Art des Ausbaues verschieden veranschlagt werden, wobei vier wichtige Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind:

1. Welche Abgaben soll der Staat fordern a) von einer öffentlichen Gesellschaft, der Kraftlieferungspreis und Abnehmerkreis vorgeschrieben werden, b) von einer Privatgesellschaft ohne Beschränkung; oder soll zwischen a) und b) überhaupt ein Unterschied gemacht werden?
2. Soll der Ausbau hinausgeschoben werden, bis staatlicher Ausbau möglich ist?
3. Inwieweit soll der Staat den Ausbau von Wasserkraft-Elektrizitätswerken durch öffentliche oder private Mittel begünstigen a) zur Erhaltung der Kohlen- und Erdölschätze für die Nachwelt, b) zwecks Aufbau neuer kleiner Industriebezirke abseits der großen Städte?
4. Die Erhaltung des begrenzten Vorrats an Kapital und Arbeitskraft für Zwecke, die der Allgemeinheit am nützlichsten sind.

Unter Beachtung dieser vier Punkte ist es klar, daß nicht jeder Wasserfall ausgenutzt werden kann, daß nicht jedes ausnutzbare Gefälle vom Staat ausgebaut werden muß, daß es unklug wäre, überall für Wasser den gleichen Preis zu fordern, kurz, daß man dieses Problem nicht nach einem feststehenden Schema behandeln darf.

Fehlschläge auf diesem Gebiet haben meist ihren Grund darin, daß die Absatzmöglichkeit der Kraft überschätzt wird. Der wesentlichste Unterschied zwischen Dampf- und Wasserkraft besteht darin, daß bei letzterer die großen Ausgaben hauptsächlich vor der Inbetriebsetzung zu leisten sind. Landbesitz und Wasserrechte, Wehr, Ober- und Unterwasserkanal, Krafthausgründung, Einbaukanäle für die Turbinen u. a. sind sogleich entsprechend dem endgültigen größten Ausbau zu erwerben bzw. auszuführen, und wenn nicht genügend Abnehmer im voraus gesichert werden können, um die dadurch entstehenden ständigen Ausgaben zu decken, ist vom Ausbau überhaupt abzuraten. Dampfkraftwerke dagegen können leicht schrittweise entsprechend den Absatzmöglichkeiten vergrößert werden. Der zweite große Nachteil der Wasserkraftwerke ist, wie schon erwähnt, die Veränderlichkeit ihrer Kraftabgabe. Die Kosten für genügend große Ausgleichbecken oder Dampfaushilfe machen heute noch viele scheinbar glänzende Pläne unrentabel; obwohl der zunehmende Kohlenmangel in dieser Beziehung allmählich eine Verschiebung zugunsten der Wasserkraft herbeiführen wird.

Die großartige Entwicklung der chemischen Fabriken an den Niagarafällen hat zu der Annahme geführt, daß die chemische und neuerdings besonders die elektrochemische Industrie ein bereitwilliger Abnehmer beliebig großer Kraftmengen wäre. Die Bearbeitung neuerer Riesenentwürfe hat aber gezeigt, daß heute die chemische Industrie vielmehr billige Kalorien, also Kilowattstunden sucht. In Kanada harren eine Million Pferdestärken in Einheiten von nicht weniger als 100 000 PS des Ausbaues zu dem fast beispiellos günstigen Betrage von etwa 100 \$/PS Baukosten, trotzdem konnte bis jetzt kein Abnehmer gefunden werden. Erst neue Verwendungsmöglichkeiten, vielleicht elektrische Eisenschmelzöfen oder neue Herstellungsverfahren für Düngemittel oder ein erhebliches Ansteigen der Kohlenpreise, werden diese Pläne zur Reife bringen.

Der Wert einer Wasserkraft liegt eben nicht in der Wassermenge und ihrer Fallhöhe, sondern lediglich in dem Gebrauch, der davon gemacht werden kann, um die Verzinsung des festgelegten Kapitals zu ermöglichen. Es genügt nicht, auf ein Anwachsen des Kraftbedarfs etwa infolge Zunahme der Bevölkerungszahl oder des Luxusbedürfnisses zu hoffen, sondern es ist zunächst sorgfältig festzustellen, wo und in welchem Maß ein solches Anwachsen zuverlässig zu erwarten ist. Und was die Schonung der natürlichen Kohlenschätze anbelangt, so ist es zum mindesten fraglich, ob nicht die Hinterlassung von Kapital für unsere Nachkommen von noch größerem Wert ist. Für den Ingenieur mag es schmerzlich sein, eine Wasserkraft nur unvollkommen ausgebaut zu sehen, häufig aber ist dies vom geldlichen Standpunkt aus die einzige Möglichkeit, überhaupt an den Ausbau heranzugehen. Jedenfalls sollte das Benutzungsrecht in solchen Fällen dadurch der Nachwelt gesichert werden, daß es gegenüber dem jetzigen Besitzer nach einer bestimmten Zeit abgeändert oder widerrufen werden kann. (In Deutschland ist dies bekanntlich bei allen Wasserkräften der Fall.)

Nach diesen Darlegungen möge näher auf die Einzelheiten der Hauptfragen eingegangen werden.

Die Betrachtung einer Rohwasserkraft kann gewöhnlich folgendermaßen zergliedert werden:

1. Welches ist die größte Kraft in kW und wieviel Kilowattstunden im Jahr kann die Anlage wirtschaftlich erzeugen?
2. Wie groß sind die Ausbaustufen zu wählen, in die das gesamte Gefäll zerlegt werden soll?
3. Wie ist die Zugänglichkeit der Anlage: ihre Entfernung von Industrie- oder Wohnbezirken und ihre Lage bezüglich der Rohbaustoffe, die verarbeitet werden sollen?
4. Wie groß ist die Veränderlichkeit von Wassermenge und Gefälle, täglich und jährlich, und in welchem Grad ist Regelung bzw. Ausgleich möglich?
5. Welche Flußregulierungen oder Kraftzuschüsse von andern Werken sind erforderlich, um eine bestimmte Dauerleistung zu erzielen?
6. Wie hoch ist der voraussichtliche tägliche, wöchentliche und jährliche Belastungsfaktor $\left(f = \frac{\text{Betriebzeit}}{\text{Gesamtzeit}}\right)$?
7. In welchem Grade wird der gegenwärtige oder zu erwartende Markt die Kraft abnehmen; wie viele zahlende Abnehmer können bei Inbetriebsetzung angenommen werden; wie viele Jahre sind zu rechnen,
   a) um Abnehmer für die ganze Leistung der ersten Ausbaustufe,
   b) um Abnehmer für die gesamte Leistung des endgültigen Ausbaues zu finden?
8. Welche besondere Form und Folge der Entwicklung wird am praktischsten erachtet, nötigenfalls unter Aufopferung von Wirkungsgrad, um die ersten Kosten gering zu halten, jedoch unter der Bedingung, daß die dadurch erzielten Ersparnisse als Reserven angelegt werden, die den endgültigen Ausbau mit bestem Wirkungsgrad ermöglichen?

Die elektrische Fernübertragung hat bewirkt, daß große Kraftmengen an weit von der Erzeugungsstelle entfernt liegenden Orten für elektrische Beleuchtung, zum Betrieb von Straßenbahnen und Fabriken zur Verfügung gestellt werden, aber selten ist sie (in Amerika) bisher benutzt worden, um neue Industrien aufzubauen oder neue Niederlassungen zu schaffen[1]); selten hat sie auch dazu beigetragen, vermehrte Arbeitsgelegenheit zu schaffen, im Gegenteil, sie hat häufig durch Stilllegung von Dampfkraftwerken eine Verminderung des Betriebspersonals hervorgerufen, da die Kesselbedienung wegfiel. Diese Art der Entwicklung ist sicherlich die gewinnbringendste, aber vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus durchaus nicht die beste. Wie schon angedeutet, wären kurze Fernleitungen, welche Industrien anziehen, viel mehr zu begrüßen, als die weiter zunehmende Kraftversorgung der großen Industriebezirke durch lange Fernleitungen, zumal da das immer enger werdende Netz von Kabeln und Freileitungen für die einzelnen Industrien vorteilhafte Gelegenheit bietet, aus den großen Städten auf das Land überzusiedeln, wozu geringere Bodenkosten, weniger Streiks, geringere Steuern und schließlich die schwer zahlenmäßig abschätzbare, aber ebenso wichtige Möglichkeit gesünderer Lebenshaltung der Arbeiter und Angestellten genug Anreiz bieten sollten.

Die engen Beziehungen zwischen Wasserkraftnutzung und Öffentlichkeit erfordern auch ein besseres Verständnis des einzelnen für die vorliegenden Probleme. Ein San Franciskoer Zeitungsreporter beklagt sich, daß er für seine Hauselektrizität 8 c/kWh bezahlen muß, während Großabnehmer der Stadt nur mit ¾ c belastet werden. Die Unkosten, die durch Spitzenbelastung, Dampfreserve, Verteilung an kleine Verbraucher, die Messung des Stromverbrauchs, Einziehung des Geldes, Ausbau im voraus für künftiges Anwachsen des Verbrauchs, Anschluß an weit entfernt liegende Werke zum Kraftaustausch bei Dürre, Sturm, Überflutung oder Feuer entstehen, waren dem Mann unbekannt. Vor einigen Jahren versagte der Gouverneur eines großen Staates seine Erlaubnis zum Ausbau einer Wasserkraft, die eine neue Industrie in einer entlegenen Ecke des Staates gründen sollte, weil der vom vorigen Gouverneur der politischen Gegenpartei vereinbarte Preis ihm nicht hoch genug erschien. Er bedachte nicht den Vorteil, der für die Allgemeinheit entsteht, wenn eine Kuhweide in einen blühenden Fabrikort umgewandelt wird. Diese und andre Beispiele zeigen, wie wichtig das richtige Verständnis der Wähler für die Entwicklung ist.

Freeman hält den Ausbau der Wasserkräfte durch große Gesellschaften unter sorgfältiger Überwachung durch den Staat für besser, als rein staatlichen Ausbau unter politischer Kontrolle.

Heute scheint man in mancher Beziehung nahe dem Höhepunkt zu sein: mit Spannungen von 220 000 V, Dampfdrücken von 80 at, Peltonrädern unter 1000 m und Francisturbinen unter 250 m Gefälle, mit Wasserturbinen von 60 000 PS und Dampfturbinen von 80 000 PS sowie mit Wirkungsgraden von mehr als 90 vH. In der Sitzung der American Society of Civil Engineers im Juli 1923 rechnete Abbott nach, daß für eine 100 000 kW-Anlage, die 320 km von der Wasserkraft sowie von der Kohlengrube entfernt ist, die Dampfkraftanlage mit 12 Mill. \$ Baukosten um 3,5 vH billiger Kraft abgeben kann, als das Wasserkraftwerk mit 25 Mill. \$ Baukosten. Junkersfeld sah Verbilligung der Fernübertragung durch Erhöhung der Spannung auf 300 bis 350 kV innerhalb der nächsten zehn Jahre voraus, während Hamilton die Meinung aussprach, daß in günstigsten Fällen für Dampfkraft die Erzeugungskosten auf 0,5 c/kWh herabgedrückt werden kann, eine Zahl, welche von Wasserkraftanlagen wohl kaum erreicht werden dürfte. Wege zu weiteren Verbesserungen scheinen höhere Spannungen für Leitungen über 400 km Länge (St. Lorenzstrom-New York) zu sein; auch tauchen immer wieder Pläne für eine Gleichstrom-Fernübertragung auf. Anderseits liegt die Möglichkeit einer Verbesserung der Wärmekraftmaschinen sehr nahe; nützen doch die Kolbendampfmaschinen nur 16 vH, die Dampfturbinen 18 bis 19 vH und die Verbrennungskraftmaschinen

[1]) Die Gründung insbesondere von Stickstoffabriken und Aluminiumwerken zur Ausnutzung von Wasserkräften in Norwegen, Deutschland, Österreich und der Schweiz sowie von Hütten für elektrische Eisenerzeugung z. B. in Schweden ist hier nicht berücksichtigt.

weniger als 40 vH der Brennstoffenergie aus. Die vereinigte Wasserdampf- und Quecksilberdampfturbinenanlage von 3000 PS in Hartford soll angeblich schon den Kohlenverbrauch nahezu auf die Hälfte herabdrücken.

Über die Rentabilität der Elektrizitätsversorgung Bostons vom St. Lorenzstrom aus sind die Ansichten noch geteilt, aber schon tauchen Pläne auf zur Versorgung New Yorks durch billig ausbaubare Wasserkräfte in Kanada.

Am Schluß seiner Rede wendet sich Freeman gegen die Schiffbarmachung des St. Lorenzstromes bis zum Oberen See für große Ozeanfrachtdampfer, da wenigstens gegenwärtig der zur Kostendeckung erforderliche Wasserkraftausbau vom volkswirtschaftlichen Standpunkt anfechtbar erscheint. Auf die Einzelheiten dieses Abschnittes einzugehen, erübrigt sich, da er nur für die dort vorliegenden eigenartigen Verhältnisse maßgebend ist. [M 194] Dipl.-Ing. Kurt Pantell.

Eisenbahnwesen.

Lokomotiven mit Zusatzdampfmaschinen.

Neuerdings hat man in England mit dem Einbau eines sogenannten Lokomotivboosters, einer Zusatzdampfmaschine zum Anfahren und Überwinden von Steigungen, in eine zweizylindrige Lokomotive der Atlantic-Bauart (2 B 1) gute Erfahrungen gemacht[1]). Von dieser Bauart waren 1910 für die London-Nordost-Eisenbahn eine große Anzahl hergestellt worden, die sich noch in sehr gutem Zustand befanden und nur wegen ihres zu geringen Reibungsgewichtes und ihrer

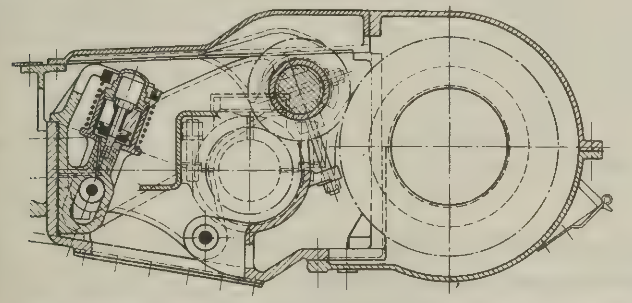


Abb. 1. Zahnradübertragung für eine Lokomotiv-Zusatzdampfmaschine.

zu geringen Zugkraft den Ansprüchen der neuzeitlichen Zugförderung nicht mehr voll genügten. Man versah diese englische 2 B 1-Lokomotive von 75 t Dienstgewicht ohne Tender daher mit einer Zusatzmaschine und hofft, sie dadurch noch für eine Anzahl von Jahren auch für schwerere Personenzüge wieder verwendungsfähig gemacht zu haben. Die eingebaute Zusatzdampfmaschine hat 254 mm Zyl.-Dmr. und 305 mm Hub. Die Zugkraft der Hauptzylinder beträgt rd. 7,8 t und vergrößert sich durch den Zusatzzylinder um rd. 50 vH auf 11,9 t. Die Zusatzmaschine sitzt unter dem Führerhaus, von wo aus sich leicht die hintere Schleppachse antreiben läßt. Zum Antrieb dient, wie auch bei älteren Ausführungen, eine Zahnradübersetzung, jedoch unter Einschaltung eines Zwischenrades, das auf einem schwingenden Hebel sitzt und das große Zahnrad auf der Schleppachse mit dem Ritzel auf der Kurbelwelle verbindet, Abb. 1. Da es sich um eine Personenzuglokomotive handelt, braucht die Zusatzmaschine nur in einer Richtung zu wirken. Bei Rückwärtsfahrt der Lokomotive klinkt sich das Zwischenrad nach oben selbsttätig aus und entkuppelt den Antrieb. Ebenso tritt der Zusatzzylinder auch nur in Wirksamkeit bei einer Geschwindigkeit unter 19,2 km/h und schaltet sich aus, sobald eine Geschwindigkeit von 33,6 km/h erreicht ist. Das Ein- bzw. Ausschalten des Getriebes geschieht durch das Senken bzw. Heben des Zwischenrades mittels eines Luftdruckzylinders, mit dem das Zwischenrad starr verbunden ist. Ein Luftventil, das nur bei den den genannten Geschwindigkeiten entsprechenden Achsendrehzahlen sich öffnet oder schließt, steuert den Luftzylinder. Beim Einströmen der Druckluft in dessen oberen Raum kuppelt das Zwischenrad den Zusatzzylinder; beim Herauslassen der Luft bringt eine kräftige Schraubenfeder den Kolben wieder in die ursprüngliche Lage zurück und entkuppelt dabei das Getriebe.

Beachtenswerte Versuche mit einer zweizylindrigen Zusatzmaschine von 254 mm Zyl.-Dmr. und 305 mm Hub mit 90° Kurbelversetzung hat man in Amerika angestellt, um bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Belastungen die Zugkraft, den Dampfverbrauch und den mechanischen Wirkungsgrad zu ermitteln[2]). Das Übersetzungsverhältnis von der Kurbelwelle zur Schleppachse betrug 14 : 36. Auf dem Versuchsstand ließ man die Zusatzmaschine unter genau denselben Verhältnissen arbeiten wie an der Lokomotive. Die Leistung wurde an eine vorgelagerte Welle abgegeben und in bekannter Weise abgebremst. Geschwindigkeit und Dampfkesseldruck wurden bei den Versuchen unveränderlich gehalten. Man nahm sodann einige Indikatordiagramme auf, stellte Geschwindigkeit, Dampfdruck, Dampftemperatur und Bremsgewicht fest und ermittelte den Dampfverbrauch aus der gesammelten Kondensatmenge.

Der aus den gewonnenen Angaben berechnete mechanische Wirkungsgrad betrug bei den verschiedenen Geschwindigkeiten 90 bis 95 vH; diese ungemein günstigen Werte des mechanischen Wirkungsgrades sind wohl eine Folge des in dem Ölkasten fast reibungslos laufenden Zahngetriebes. Die abgebremste Leistung war bei den einzelnen Geschwindigkeiten immer proportional der Spannung des Dampfes bei Eintritt in den Zylinder. Die Zugkraft fiel bei wachsender Geschwindigkeit (3 bis 28 km/h) von etwa 4,8 t auf 3,0 t. Der Wasserverbrauch war fast unveränderlich, im Durchschnitt etwa 19 kg/PSh; diese hohe Zahl ergibt sich daraus, daß die Überhitzung nur etwa 30 bis 35 °C betrug; bei hoher Überhitzung würde sich der Wasserverbrauchswert weit geringer stellen.

Um den Vorteil der Zusatzmaschine auch im Betrieb an den Lokomotiven feststellen zu können, machte man vergleichende Versuche, indem man die Lokomotive einmal mit und dann ohne Anwendung der Zusatzzylinder fahren ließ. Als Versuchsmaschine diente eine amerikanische 2 C 1-Lokomotive. Es ergab sich eine erhebliche Zunahme der Zugkraft, so daß die Lokomotive auf einer Steigung von 7 vT einen Zug von 2260 t noch zu ziehen imstande war, den sie sonst nur mit Vorspann hätte befördern können. Außerdem zeigte sich die Wirkung der Zusatzmaschine darin, daß die Lokomotive infolge ihrer erhöhten Zugkraft auch imstande war, einen schweren Personenzug ohne Schwierigkeit wieder rasch in Gang zu setzen und auf die verlangte Geschwindigkeit zu bringen. [R 326] Cr.

[1]) „The Engineer" Bd. 137 vom 8. Februar 1924.
[2]) Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens Bd. 78 (1923) Heft 6.

Elektrotechnik.

Atmosphärische Entladungen und Blitzschutzeinrichtungen.

Dr. H. Norinder, Upsala (Schweden) berichtet über eine Reihe von Forschungsarbeiten über das Verhalten des elektrostatischen Erdfeldes während der Gewitter, die als Grundlagen für den Schutzwert von Erdungsdrähten, Blitzschutzvorrichtungen usw. dienen sollen[3]). Die maßgebende Zahlengröße ist das Potentialgefälle (Feldstärkenänderung) in der Nähe der Erdoberfläche, von der die Ladung je Längeneinheit des Leiters abhängt. Stetige Änderungen des Feldes, wie beim langsamen Vorüberziehen von Gewitterwolken, rufen selbst bei ungeerdeten Leitern keine Überspannungen hervor, da die Leitfähigkeit der Porzellanisolatoren in solchen Fällen genügt, die Ladungen auszugleichen. Nur bei plötzlichen Feldänderungen (Blitzschlägen) werden die Ladungen rasch frei, und es wird eine Überspannungswelle erzeugt.

Bei den Untersuchungen wurden die zeitlichen Veränderungen des Spannungsgefälles gleichzeitig an drei, im Dreieck angeordneten Beobachtungspunkten in je 1,5 bis 10 km Entfernung mittels selbstschreibender Spannungsmesser aufgenommen. Die Aufnahmen zeigen eine sanft abfallende schräge Wellenstirn ohne ausgeprägte Schwingungszahl, so daß die Durchschläge an Transformatoren und Apparaten durch sekundäre Entladungen an den Isolatoren hervorgerufen wurden. Um die Feldstärke und deren Gefälle genau zu beobachten, spannte man zwei parallele hochisolierte Drähte 5 bis 10 m über dem Erdboden aus und verband sie mit dem Spannungsmesser im benachbarten Prüfstand. Als Leitungsisolatoren dienten mit Bakelit getränkte Hartgummiisolatoren; die Spannung wurde durch einen selbstschreibenden

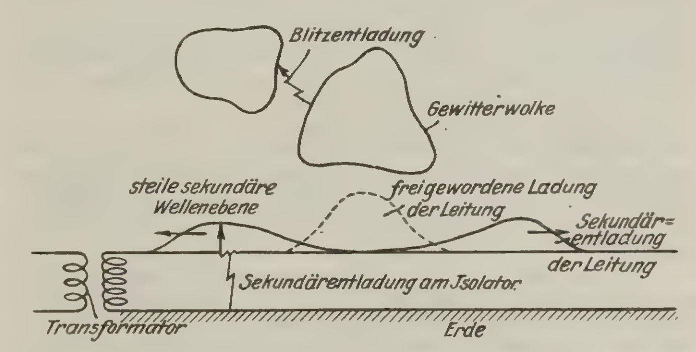


Abb. 2. Sekundärentladung der Leitung bei einem Blitzschlag.

statischen Spannungsmesser ermittelt. Es ergab sich bei den Messungen eine mittlere Feldstärke von 100 bis 150 kV auf 1 m Drahtlänge in der Höhe der Übertragungsleitungen. Bei Gewittern stieg das Gefäll oft auf 300 und 400 kV und war häufig negativ. Gleichzeitige Aufnahmen an drei Beobachtungspunkten zeigen den aperiodischen und gedämpften Verlauf der ungleichen Entladungen und den Wechsel zwischen positivem und negativem Spannungsgefälle, das stets örtlich beschränkt blieb. Die Entladewellen hochgeladener Wolken zeigen einen ähnlichen Verlauf. Die zeitliche Feldänderung bei Gewittern wurde später (1921) mittels Kathodenstrahlen-Oszillographen (Schwingungsmessern) sichtbar gemacht und mit einem Selbstschreiber verbunden. Die Entladeplatten waren hierbei mit den Antennen mittelbar oder unmittelbar gekuppelt. Das Aufleuchten der Röhre zeigt denselben gedämpften und aperiodischen Charakter wie die früheren Versuche.

Aus den Untersuchungen geht nach Norinder hervor, daß die Durchschläge an Transformatoren erst durch die Sekundärentladungen mit steiler Front an Isolatoren oder Blitzschutzapparaten hervorgerufen werden, die durch örtliche Entladungen entstehen sollen. Abb. 2

[3]) „Electrical World" Bd. 83 (1924) Nr. 5 S. 223.

zeigt den Verlauf der Sekundärentladung bei Blitzschäden. Der beste Blitzschutz ist danach eine gute Isolation der Leitung und aller angeschlossenen Einrichtungen, die die Anordnung besonderer Blitzschutzvorrichtungen überflüssig macht. [R 218] Rb.

Bauingenieurwesen.

Hafenbauten in Antofagasta (Chile)[1].

Die Arbeiten zur Verbesserung des chilenischen Hafens Antofagasta, für die erst kürzlich weitere Mittel bewilligt worden sind, sind seit 1918 auf Grund eines Gesetzes von 1916 im Gange. Es ist bemerkenswert, daß für dieses Werk zum erstenmal in Chile eine Unternehmung im Lande selbst gebildet worden ist. Die Hafenbauten bestehen in einer großen, 1460 m langen, mit dem größten Teil parallel zur Küstenlinie verlaufenden Mole, sowie einer zweiten Mole, die das durch die erste gebildete Hafenbecken nach Norden zu unter Freilassung einer Hafenmündung von 250 m abschließt; außerdem wird für Kaiflächen in 2300 m Längenausdehnung mit Eisenbahnanschluß an die Eisenbahn nach Bolivia Boden aufgefüllt.

Die ersten 220 m der Mole sind von Land aus durch Verstürzen von Felsblöcken hergestellt, der übrige Teil besteht aus einem Unterbau aus Felsblöcken bis 9,40 m unter Niedrigwasser herauf, auf dem Betonblöcke von 60 t Gewicht in geneigter Lage in Reihen, nach Art der Mole in Colombo, bis zur Höhe von + 4,0 m über Niedrigwasser einschließlich einer Betonabdeckschicht versetzt werden. Nach der Seeseite hin wird eine Brustwehr, die ebenfalls aus Betonblöcken besteht, als Schutz gegen überschlagende Wellen noch bis + 7,50 m über Niedrigwasser hinaufgeführt und am Fuß der Mole werden des starken Seeangriffs wegen regellos 60 t schwere Betonblöcke aufgeschüttet.

Das Steinmaterial wird in einem besonders zu diesem Zweck in etwa 4 km Entfernung eingerichteten Steinbruch gewonnen und mit einer schmalspurigen Eisenbahn entweder zu dem Werkplatz für die Betonblöcke oder zu einer durch eine kleine Hilfsmole geschützten Ladebrücke befördert. Von letzterer aus werden die Steine in Prähme verladen, in diesen durch Schlepper zur Baustelle in See gebracht und in die Mole geschüttet.

Besonders beachtenswert ist die Einrichtung des Betriebes auf dem Werkplatz zur Herstellung der Betonblöcke, ihrer Verladung und Beförderung. Der 300 m lange Platz wird in seiner ganzen Breite von 30 m durch einen fahrbaren Portalkran von 12,60 m lichter Höhe überspannt, unter dem zwei fahrbare Portalbühnen mit den Betonmischmaschinen sich nebeneinander bewegen. Die Steine werden zunächst auf eine Rampe gefahren, von dort in Steinbrecher verstürzt, von diesen als Schotter durch Aufzüge auf Siebe zum Trennen in verschiedene Größensorten befördert, von wo sie in Silos fallen. Den Silos wird aus einer 2 km entfernten Sandgrube durch eine Seilbahn Sand zugeführt. Schotter und Sand wird den Silos durch kalibrierte kleine Wagen entnommen, die mit elektrischer Winde auf geneigter Ebene auf die Bühne der Betonmischmaschinen befördert werden, während der Zement durch den großen Portalkran auf die Bühne gehoben wird.

Die maschinelle Anlage des Werkplatzes — Steinbrecher, Aufzüge, Winden, Siebeinrichtung, Betonmaschinen, fahrbare Portalbrücken und Kran — wird mit elektrischer Kraft betrieben. Die fertigen Blöcke werden nach zwei Monaten Erhärtungsdauer auf 6achsigen Spezialwagen zur Molenbaustelle befördert und dort von Land aus fortschreitend durch einen auf der Plattform der Mole einerseits und der Brustwehr anderseits laufenden Halbportaldrehkran von ebenfalls 60 t Tragfähigkeit und 15 m Ausladung auf den Unterbau aus Felsblöcken regelrecht versetzt, nachdem diese Steinschüttungsunterlage mit Hilfe einer Taucherglocke abgeglichen und zur Aufnahme der Betonblöcke geeignet gemacht ist. Die vertragsmäßigen Arbeiten sollen in etwa 3 Jahren beendet sein. [M 268] Bu.

[1] Anales del Instituto de Ingenieros de Chile Bd. 23 (1923) Heft 6.

Eigenartiger Bau einer Eisenbetonbrücke.

Eine Eisenbetonbogenbrücke von 61 m Spannweite ist im Staate New York über den Salmon-Fluß an Stelle einer eisernen Zweigelenkbogenbrücke unter Erhaltung der letzteren während des Baues für die Beförderung der Baustoffe und die Herstellung der neuen Brückenbahn durch Umbauen des alten eisernen Untergurtes mit einem Eisenbetonbogen mit verhältnismäßig geringem Kostenaufwand errichtet worden[2]. Der Ersatz der alten Brücke, die 1882 erbaut worden war, wurde vorgenommen, weil die Konstruktion für nicht mehr genügend tragfähig gehalten wurde, um den heutigen schwereren Verkehr aufzunehmen.

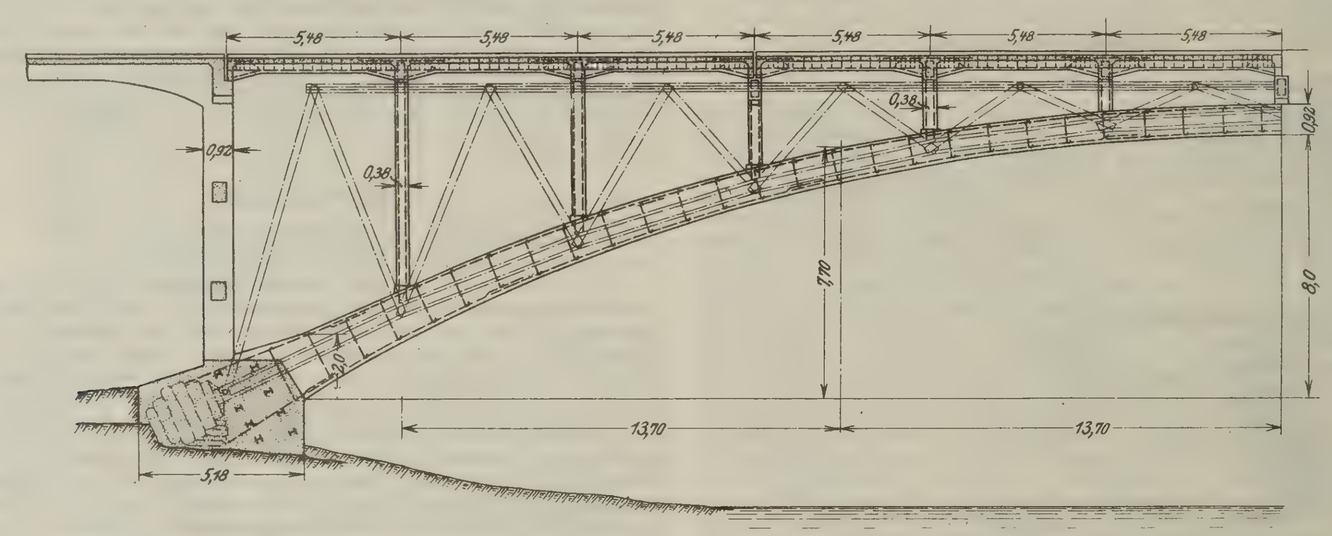
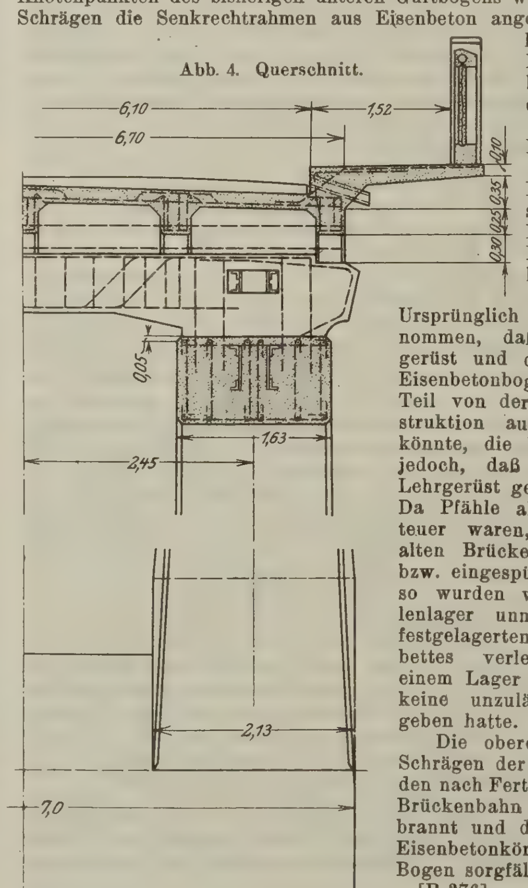


Abb. 3. Längsschnitt durch die Hauptöffnung der Eisenbetonbrücke über den Salmonfluß.

Die beiden eisernen Zweigelenkbogen-Untergurte wurden mitsamt den Widerlagern in zwei Eisenbetonbogen mit einbetoniert. In den Knotenpunkten des bisherigen unteren Gurtbogens wurden zwischen den Schrägen die Senkrechtrahmen aus Eisenbeton angeordnet. Die Schalung der neuen Eisenbetonbrückenbahn wurde durch den Obergurt der alten eisernen Brücke unterstützt. Abb. 3 und 4 zeigen Längs- und Querschnitt durch die Hauptöffnung der Brücke mit dem bisherigen eisernen Zweiggelenkbogen.

Abb. 4. Querschnitt.



Ursprünglich hatte man angenommen, daß auch das Lehrgerüst und die Last der neuen Eisenbetonbogen zum großen Teil von der alten Brückenkonstruktion aufgenommen werden könnte, die Untersuchung ergab jedoch, daß ein unabhängiges Lehrgerüst gebaut werden mußte. Da Pfähle als Unterstützung zu teuer waren, auch unter der alten Brücke nicht eingerammt bzw. eingespült werden konnten, so wurden verbreiterte Schwellenlager unmittelbar auf den festgelagerten Kies des Flußbettes verlegt, nachdem mit einem Lager eine Probebelastung keine unzulässige Senkung ergeben hatte.

Die obere Gurtung und die Schrägen der alten Brücke wurden nach Fertigstellung der neuen Brückenbahn mit Azetylen abgebrannt und die Löcher in dem Eisenbetonkörper der neuen Bogen sorgfältig ausgefüllt. [R 376] Bu.

[2] s. „Engineering News-Record Bd. 92 vom 21. Februar 1924.

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Die Schachtfördermaschinen. Von Fritz Schmidt und Ernst Förster. Erster Teil: Die Grundlagen des Fördermaschinenwesens von Dr. Fritz Schmidt. Berlin 1923, Julius Springer. 209 S. mit 178 Abb. Preis Gm. 8,50. fs

Der dritte Band der von Hans Bansen herausgegebenen Sammlung „Die Bergwerksmaschinen", der die Schachtfördermaschinen behandelt, erscheint in der 2. Auflage in drei getrennten Teilen, wovon der hier vorliegende erste die Grundlagen des Fördermaschinenwesens bringen soll

Nach einer systematischen Einteilung der Fördermaschinen nach Bauart und Anordnung bespricht der Verfasser die Kraft- und Geschwindigkeitsverhältnisse, den Seilausgleich bei Trommeln und Bobinen, die Treibscheibenförderung in ihrer Abhängigkeit von den Seilreibungsverhältnissen, die Förderseile und ihre Beanspruchung. Er bringt dann die konstruktive Ausbildung von Einzelteilen, wie Trommeln, Bobinen und Seilscheiben, und schließlich eine kurze Übersicht über die üblichen Anzeige-, Warn- und Signalvorrichtungen. Die eigentlichen Fördermaschinen sind dem zweiten und dritten Teil vorbehalten.

Das Buch scheint hauptsächlich für Anfänger bestimmt zu sein, die sich in das Fördermaschinenwesen einarbeiten wollen. Die Darstellung ist klar und durchsichtig, und so kann das Buch für den angedeuteten Zweck auch als gut empfohlen werden. Man kann natürlich über den Umfang dessen, was als Grundlage des Fördermaschinenwesens zu bringen ist, verschiedener Ansicht sein und kann es z. B. als Mangel empfinden, daß bei der Besprechung der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhältnisse nur der einfachste Fall der gleichmäßigen Beschleunigung behandelt ist, der nur bei Seilausgleich mit gleich schwerem Ober- und Unterseil auftritt, während durch die Arbeit von Schellewald die entsprechenden Verhältnisse für alle beliebigen Ausgleichverfahren schon seit mehreren Jahren bekannt sind.

Die Abbildungen sind im allgemeinen zufriedenstellend. Einige der schematischen Skizzen (z. B. 161) sind nicht ganz klar. Ein recht reichhaltiges Quellenverzeichnis ist beigefügt. [B 231] Bonin.

Die willkürlich bewegbare künstliche Hand. I. Band, 1916, von F. Sauerbruch (mit 104 Abb.) und II. Band, 1923, von F. Sauerbruch und C. ten Horn (mit 230 z. T. farb. Abb.). Berlin 1923, Julius Springer. Preis geh. Gm. 12, geb. 14,50.

Sauerbruch hat bereits im Jahre 1916 in eingehenden anatomisch-physiologischen und klinischen Ausführungen die Grundlagen seines Vorgehens für die Verwertung der Muskeln von Unterarm- und Oberarmstümpfen zu Kraftquellen für die willkürlich bewegbare künstliche Hand gegeben und seine schon damals im Zusammenarbeiten mit Stadler-Singen aufs sorgsamste ausgebildete Operationstechnik an der Hand von mehr als 100 Abbildungen dargelegt.

Nunmehr liegt auch der zweite, besonders wichtige Band mit der wissenschaftlichen Wiedergabe der Gesamterfahrungen der letzten 6 Jahre fertig vor.

Schon die ersten beiden Kapitel „Physiologische Gesichtspunkte für den Bau und die Betätigung willkürlich beweglicher künstlicher Arme" von A. Bethe-Frankfurt a. M. und der „Anatomisch-physiologische Teil" bringen eine Fülle beachtenswerter allgemeiner Aufschlüsse und weiterer Erfahrungen, besonders über die Verwendung und Leistung der Kraftquellen in der Prothese.

Der chirurgisch-operative Teil enthält im Anschluß an eine mehr zusammenfassende Darstellung der vorbereitenden Maßnahmen, der Herstellung von Kraftquellen, der Haltekanäle und der wichtigen Nachbehandlung, die ganze so äußerst sorgsam und geistvoll ausgebildete spezielle Operationstechnik für die verschiedenen Stümpfe der Finger, der Hand, des Unterarms, des Oberarms und der Schulter. Mehr als 70 farbige Abbildungen veranschaulichen allein in diesem Teil technisch geradezu vorbildlich die operativen Einzelheiten und bringen jedem Jünger und Meister der operativen Technik das Sauerbruchsche Verfahren in plastisch-klarer Weise nahe.

Im technischen Teil gibt L. Staufer-Singen Einblick in den mechanischen Aufbau der Sauerbruch-Arme mit allen Einzelheiten der verschiedenen Konstruktionen der Gebrauchsarme und der Arbeitsarme, und zwar durch photographische Abbildungen in ihrer Betätigung am Lebenden und in lehrreichen Konstruktionszeichnungen, auch der Arbeitsansatzstücke.

Ein letztes Kapitel berichtet schließlich über die Spätergebnisse und die Bewertung der willkürlich bewegbaren künstlichen Hand.

Man muß mit Sauerbruch verlangen, daß nur wirklich Erfahrene das Operationsverfahren anwenden und daß eine künstliche Hand nur dort beschafft wird, wo die beste technische Herstellung und genügende Einschulung vollen Erfolg gewährleistet.

So werden die beteiligten Kreise der Chirurgen, Orthopäden, Ingenieure und Techniker für die sehr lehrreichen und anregenden Ausführungen Sauerbruchs und seiner verdienstvollen Mitarbeiter ebenso dankbar sein, wie die Tausende von Armamputierten, denen so vollkommene Hilfe zuteil geworden ist. Und ganz Deutschland kann stolz sein, daß trotz aller derzeitigen Kümmernisse die so wohlgelungene Bearbeitung eines der schwierigsten orthopädischen Probleme in einer bewundernswerten Ausführung des Springerschen Verlages herausgebracht worden ist. [B 63] Gocht-Berlin.

Osnabrücker Kupfer- und Drahtwerk 1873—1923. Bearbeitet von Conrad Matschoß. Osnabrück 1923. 60 S. mit Federzeichnungen und Wiedergabe von Originalradierungen von J. C. Turner.

Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe. Von F. Seufert. 3. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 83 S. m. 26 Abb. u. 5 Tafeln. Preis Gm. 1,80.

Der Wärmeübergang an strömendes Wasser in vertikalen Rohren. Von W. Stender. Berlin 1924, Julius Springer. 86 S. m. 25 Abb. Preis Gm. 5,10.

Die rechnerische Erfassung der Verbrennungsvorgänge. Von A. B. Helbig. Halle a. S. 1924, Wilhelm Knapp. 35 S. Preis Gm. 1.

Diagramme für Wasserdampf. Von Prof. Dr. Osc. Knoblauch, Dipl.-Ing. E. Raisch und Dipl.-Ing. H. Hausen. Ausgabe A enthaltend je ein *i*, *s*- und *i*, *p*-Diagramm; Ausgabe B enthaltend zwei *i*, *s*-Diagramme. München und Berlin 1924, Verlag von R. Oldenbourg. Preis jeder Ausgabe in Streifband je Gm. 1,10. Bei Bezug mehrerer Exemplare Preisermäßigung.

Von den Tabellen und Diagrammen für Wasserdampf, berechnet aus der spezifischen Wärme, die in dieser Zeitschrift Bd. 67 (1923) S. 723 ausführlich besprochen worden sind, erscheinen nun die Diagramme auf besserem Papier in zwei Sonderausgaben. Wer viel mit den Diagrammen arbeitet, wird es begrüßen, zu wesentlich geringerem Preise die Diagramme ohne den dazugehörigen Text einzeln beziehen zu können. M. J.

Materialprüfung und Baustoffkunde für den Maschinenbau. Von Dr. W. Müller. München und Berlin 1924. R. Oldenbourg. 370 S. m. 315 Abb. Preis Gm. 11, geb. 12,50.

Mechanische Technologie der Metalle in Frage und Antwort. Von Dr. E. Sachsenberg. Berlin 1924, Julius Springer. 219 S. m. zahlreichen Abb. Preis Gm. 6.

Die Verfeuerung der Mineralkohlen und die Aufbereitung der Feuerungsrückstände. Von Dr. Ed. Donath. Dresden u. Leipzig 1924, Theodor Steinkopff. 108 S. m. 20 Abb. Preis Gm. 3,50.

L. Schmitz. Die flüssigen Brennstoffe. Ihre Gewinnung, Eigenschaften u. Untersuchung. 3. Aufl. v. Dipl.-Ing. Dr. J. Follmann. 208 S. m. 59 Abb. Preis Gm. 7,50.

Leitfaden der Hüttenkunde für Maschinentechniker. Von Dipl.-Ing. K. Sauer. 2. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 90 S. mit 82 Abb. Preis Gm. 1,8.

Lehrbuch der chemischen Technologie und Metallurgie. Von Dr. B. Neumann. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Leipzig 1923, S. Hirzel. 995 S. m. 454 Abb. u. 7 Tafeln. Preis Gm. 14, geb. Gm. 20.

Chemische Technologie. Von Dr. H. Wichelhaus. 1. Band, 5. Aufl. Dresden und Leipzig 1921. Theodor Steinkopff. 434 S. m. 104 Abb. Preis Gm. 6, geb. Gm. 7,5.

Chemische Technologie. Von Dr. H. Wichelhaus. 2. Band, 5. Aufl. Dresden und Leipzig 1923, Theodor Steinkopff. 454 S. m. 106 Abb. Preis Gm. 6, geb. Gm. 7,5.

Grundzüge der Kolloidlehre. Von Prof. Dr. H. Freundlich. Leipzig 1924, Akadem. Verlagsges. 157 S. Preis Gm. 6.

Der Eingelenkbogen für massive Straßenbrücken. Eine statistisch-wirtschaftl. Untersuchung. Von Dr. E. Burgdorfer. Berlin 1924, Julius Springer. 160 S. m. 51 Abb. u. 10 Tafeln. Preis Gm. 7,50.

Der Tunnel. Anlage und Bau. Von Dr. G. Lucas. Bd. 2, Lfg. 1: Bauvorgang bei Herstellung der Tunnel. Berlin 1924, W. Ernst & Sohn. 169 S. m. 238 Abb. Preis Gm. 10,20.

Zur Berechnung des beiderseits eingemauerten Trägers unter besonderer Berücksichtigung der Längskraft. Von F. Takabeya. Berlin 1924, Julius Springer. 52 S. m. 28 Abb. u. 2 Tafeln. Preis Gm. 3.

Vorlesungen über Eisenbeton. Von Dr. E. Probst. Bd. 1, 2. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 620 S. m. 70 Abb. Preis Gm. 24.

Die Eisenkonstruktionen der Ingenieur-Hochbauten. Ein Lehrbuch zum Gebrauch an Techn. Hochschulen u. i. der Praxis. Von Max Foerster. Erg.-Bd. z. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 5. verm. Aufl. Leipzig 1924, Wilhelm Engelmann. 1320 S. mit 1332 Abb. Preis geh. Gm. 42, geb. Gm. 45.

Sammlung Göschen Bd. 689: **Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen.** Von J. Scheibner. Bd. 1. 2. Aufl. 122 S. mit 39 Abb. Preis Gm. 1,25.

Das Automobil, sein Bau und sein Betrieb. Von Freiherr Löw von und zu Steinfurth. 5. Aufl. Berlin 1924, C. W. Kreidel. 375 S. m. 414 Abb. Preis Gm. 8,40.

Autotechnische Bibliothek Bd. 20: **Der Autotriebwagen, sein Bau und Betrieb.** Von O. Barsch. Berlin 1923, R. C. Schmidt & Co. 196 S. mit 83 Abb. Preis Gm. 3,50.

Betriebstechnische Autokunde. Von F. Faulenbach. Heft 1. Leipzig 1923, E. A. Seemann. 107 S. Preis Gm. 4.

Die Selbstkostenberechnung industrieller Betriebe. Von Friedrich Leitner. 8. Aufl. Mit Anhang über die Finanz- und Preispolitik bei sinkendem Geldwert. Frankfurt a. M. 1923, J. D. Sauerländer. 407 S. Preis geh. Gm. 6,20, geb. Gm. 7,50.

Goldbilanzierungsgesetz. Eine erste Einführung in die Verordnung über Goldbilanzen vom 28. Dezember 1923. Von Dr. R. Rosendorff. Berlin 1924, Industrieverlag Spaeth & Linde. 102 S. Preis Gm. 3,30.

Das Reichsgesetz über wertbeständige Hypotheken vom 23. Juni 1923. Von Dr. A. Düringer und Dr. W. Schulze. Berlin 1924, Industrieverlag Spaeth & Linde. 213 S. Preis geh. Gm. 3,50, geb. Gm. 4.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Unzulässige Absenkung des Wasserspiegels in Steilrohrkesseln.

Zu dem in Nr. 1 der VDI-Zeitschrift vom 5. Januar 1924 erschienenen Bericht von Dipl.-Ing. Faust über den in Nr. 19 und 20 vom 31. Oktober 1923 der Z. d. Bayr. Rev. Vereins veröffentlichten Aufsatz von Obering. Maas vom Großkraftwerk Franken ist folgendes zu bemerken:

An den Versuchsergebnissen überrascht weniger die auch früher nicht unbekannte Tatsache des Höhenunterschiedes der Wasserspiegel in den Obertrommeln von Steilrohrkesseln, als der Umstand, daß bisher weder Kesselbesitzer noch Überwachungsbehörden dieser bedenklichen Erscheinung Aufmerksamkeit geschenkt haben. Von den Kesselbaufirmen hätte man erwarten sollen, daß sie diesem Übelstande durch konstruktive Mittel entgegen getreten wären. Leider haben sie dies mit wenigen Ausnahmen versäumt oder nur eine Obertrommel mit einem Wasserstandglas versehen. Wenn, wie es Vorschrift sein müßte, jede Obertrommel von vornherein mit einem besonderen Wasserstandzeiger versehen worden wäre, so würde mancher bisher unerklärt gebliebene Schaden vermieden worden sein.

Maas zieht aus seinen Versuchen den Schluß, „daß sich der Wasserumlauf entsprechend dem vorhandenen Temperaturgefälle zwischen Heizgasen und Heizfläche ohne besondere Hilfsmittel und von selbst einstellt“; demgemäß empfiehlt er, die Unterschiede zwischen den Wasserständen der Kessel-Obertrommeln durch völlige Trennung der beiden Untertrommeln zu beseitigen. Wärmewirtschaftlich ist gegen diese Anordnung nichts einzuwenden: im Gegenteil, wegen des höheren Temperaturgefälles im hinteren Rohrbündel müßte gegenüber der ursprünglichen Anordnung die Wärmeübertragung verbessert werden. Der von Maas vorgeschlagenen Aufteilung des Mehrtrommelkessels in mehrere Zweitrommelsysteme, haften aber einige schwerwiegende grundsätzliche Mängel an, deren Erörterung nicht überflüssig scheint, da infolge des Aufsatzes von Maas an einigen Stellen Stimmung vorhanden zu sein scheint, Mehrtrommel-Steilrohrkessel nach seinen Vorschlägen umzubauen.

Der hintere Teil eines nach Maas umgebauten Viertrommelkessels dient, wie man sich durch Vergleich der aus den Rauchgasen angebotenen, mit der zur Erwärmung des Speisewassers auf Sättigungstemperatur erforderlichen Wärmemenge leicht überzeugen kann, so gut wie völlig als Vorwärmer. Ob ein Wasserumlauf im hinteren Rohrsystem überhaupt zustande kommt, ist bei der Art der Beaufschlagung des Rohrbündels durch die Heizgase zweifelhaft. Auf alle Fälle ist die Wasserbewegung äußerst träge. Es hat sich nun gezeigt, daß bei derartiger Führung des Wassers selbst bei grundsätzlich nicht korrosiven Speisewässern regelmäßig Rostungserscheinungen auftreten, wovon besonders die Sohle der Untertrommel betroffen wird. Weiterhin ist aber bekannt, daß diese Anrostungen sofort aufhören, wenn die beiden Untertrommeln mit Verbindungsrohren versehen werden[1]).

Ein weiterer Mangel der vorgeschlagenen Anordnung ist folgender: Während das hintere Rohrbündel nebst Ober- und Untertrommel als Vorwärmer dient, findet die ganze Dampferzeugung im vorderen Rohrbündel statt. Der für die Wärmespeicherung wirksame Wasserinhalt beschränkt sich daher im wesentlichen auf den Vorderteil. Die mittlere Temperatur des Wassers im Hinterteil liegt bei dieser Anordnung erheblich unter der Sättigungstemperatur des Dampfes, und im umgebauten Kessel fällt bei plötzlich vermehrter Dampfentnahme notwendigerweise der Druck schneller als in dem ursprünglichen. Als weiterer unangenehmer Begleitumstand der Verringerung des wirksamen Wasserinhaltes ergibt sich im Vorderteil ein beschleunigtes Anreichern des Kesselwassers mit den im Speisewasser gelösten Salzen; der Kessel neigt daher eher zum Spucken und muß häufiger abgeschlämmt werden.

Essen. Dr.-Ing. Wilhelm Otte.

Es sind mir aus meiner Praxis Mehrtrommelkessel mit zwei getrennten Röhrenbündeln und getrennten Unterkesseln wie im vorliegenden Falle bekannt, die sich seit Jahrzehnten im Betrieb befinden, ohne schwere Rostungserscheinungen aufzuweisen; ich verweise auf die Bauarten von Steinmüller in Gummersbach, Hartmann in Chemnitz und Oschatz in Meerane, deren Unterkessel nicht verbunden sind. Gleiche oder noch ungünstigere Verhältnisse liegen beim Flammrohrkessel vor, der in gut überwachten Betrieben ebenfalls nicht rostet. Fehlerhaft wäre es, das kalte Speisewasser in der hinteren Untertrommel oder am tiefsten Punkt der Kessel einzuführen, weil dann infolge der Gasausscheidung mit Bestimmtheit Anfressungen an dieser Stelle auftreten würden.

Wenn Dr. Otte an dem in Bd. 67 (1923) S. 1021 beschriebenen Stirlingkessel Rostungserscheinungen in der hinteren Untertrommel festgestellt hat, so gibt es dafür sehr naheliegende Erklärungen. Rostungen der geschilderten Art sind in der Regel nicht auf Vorgänge während des Kesselbetriebes zurückzuführen, sie würden sonst nicht nur ab und zu auf der vom Speisewassereintritt am weitesten entfernten Sohle von Untertrommeln auftreten, vielmehr auf mangelhafte Anordnung und Wirkung der Schlammentleerungsorgane. Die hauptsächlich aus kohlen- und schwefelsaurem Kalk bestehenden Schlammausscheidungen lagern sich erfahrungsgemäß als zähe Masse im hinteren Unterkessel ab, wo die Wasserbewegung geringer ist. Dieser steife Brei kann durch bloßes Entleeren oder Abschlämmen nicht aus der Untertrommel entfernt werden. Bei längerer Kaltstellung und Entleerung solcher Kessel bleibt der feuchte Brei samt größeren und kleineren Wasserpfützen in der unteren Trommel liegen, so daß bei Lufteintritt die Rostungen auf der Sohle solcher Trommeln entstehen müssen.

Die mangelhafte Schlammabführung suchte man bei bisherigen Konstruktionen dadurch unschädlich zu machen, daß man die Unterhälfte der Untertrommel durch Abmauerung den Einwirkungen der Feuergase entzog. Man nimmt dafür die von Dr. Otte geschilderten nicht ungefährlichen Ausbauchungen der Untertrommeln in den Kauf.

Wenn die beiden Untertrommeln mit Rohrverbindungen versehen sind, so verteilen sich die Schlammanhäufungen auf beide Trommeln und die Entschlammung wird wirksamer. Ein Teil des Schlammes läuft in solchem Fall auch mit dem Kesselwasser dauernd um und setzt sich deshalb in den Röhren und Oberkesseltrommeln an. Wo aber der Schlammentleerung ein gutes Augenmerk zugewendet wird, können keine Rostungen an der Sohle von Untertrommeln auftreten. Ich habe einen derartigen Kessel, der mit Turbinen-Kondensat und permutiertem Wasser gespeist wird, rd. 3000 Stunden im Betrieb und er ist bisher einwandfrei befunden worden.

Der Herr Einsender befindet sich ferner im Irrtum, wenn er behauptet, der für die Wärmespeicherung wirksame Wasserinhalt beschränke sich bei getrennten Röhrenbündeln nur auf den vorderen Dampferzeuger. Ich habe an den abgeänderten Dampfkesseln auch darüber Messungen vorgenommen und gefunden, daß das hintere Röhrenbündel, das er nur als Vorwärmer bezeichnet, tatsächlich einen sehr wirksamen Wärmespeicher darstellt.

Die Wassertemperaturen im hinteren Oberkessel betrugen kurz nach dem Zuschalten des 500 m^2 großen Kessels und im Mittel des zweitägigen Versuches 193 °, im hinteren Unterkessel 185 °, im vorderen Oberkessel 195 °, im vorderen Unterkessel 193 °. Die mittlere Flüssigkeitstemperatur im hinteren Röhrenbündel betrug somit 189 °, entsprechend der Sättigungstemperatur von Dampf von 12,75 at abs.

Die Wärmeaufnahme des hinteren Röhrenbündels betrug bei einer Belastung von 35,9 kg/m^2 1 600 000 kcal/h, entsprechend 15,6 vH der zur Sattdampferzeugung im Kessel ausgenützten Wärmemenge. Betrug die Erzeugungswärme des Sattdampfes $666 - 100 = 566$ kcal/kg, so wären im hinteren Röhrenbündel $1\,600\,000 : 566 = 2827$ kg/h Sattdampf erzeugt worden, wenn der hintere Oberkessel getrennt gespeist worden wäre.

Nimmt man an, daß die gesamte Speisewassermenge des Kessels trotz der Verbindungsrohre zwischen den Wasserhälften der beiden Oberkessel allein im hinteren Röhrenbündel vorgewärmt würde, so sind in diesem für je 1 kg Speisewasser $1\,600\,000 : 17\,950 = 89$ kcal ausgenützt worden.

Das hintere Röhrenbündel stellt infolge seines eigenen Wasserumlaufes einen sehr wirksamen Wärmespeicher dar, dessen Flüssigkeitstemperatur nahe an der Sattdampftemperatur liegt, während das vordere Röhrenbündel beim Anheizen, bei Druckrückgang und bei Leistungssteigerung wegen des geringeren Wasserinhaltes als Schnelldampferzeuger arbeitet. Der Wasserumlauf im hinteren Röhrenbündel ist nicht träger, als in anderen ebenso schwach belasteten Wasserrohrkesseln.

Wärmetechnisch und bezüglich ihrer Dehnungsfähigkeit ist die beschriebene Kesselbauart zweifellos eine Verbesserung, wie auch die Verdampfversuche bei 35,9 und 45 kg/m^2 Kesselbeanspruchung am abgeänderten Kessel bewiesen haben.

Sollte sich das Kesselwasser mit den im Speisewasser gelösten Salzen im vorderen Kesselkörper schneller als im hinteren anreichern, so würde sich die Notwendigkeit, das Kesselwasser zu verdünnen, in der Hauptsache eben auf das vordere Bündel mit halbem Wasserinhalt beschränken, und man könnte ohne höhere Wärmeverluste eine wirksamere Verdünnung als bei der verbundenen Kesselbauart erzielen. Die Erfahrung mit den umgebauten Kesseln lehrt jedoch, daß durch die Verbindung beider Oberkessel-Wasserhälften nicht nur die Flüssigkeitstemperatur, sondern auch die Konzentration wirksam ausgeglichen wird und daß der Kessel deshalb nicht früher als vor dem Umbau zum Schäumen neigt.

Das Spucken der Mehrtrommelkessel, nicht zu verwechseln mit Schäumen, tritt nach meinen Beobachtungen nur dann ein, wenn bei höherer Kesselbeanspruchung und stark alkalischem Speisewasser der Wasserstand im vorderen Oberkessel zu hoch gehalten wird. Geht man mit dem Wasserstand tiefer, so läßt das Spucken in kurzer Zeit nach.

Ich halte es nicht für notwendig, den „historischen“ Wasserumlauf aufzugeben, wenn man dem dringenden Erfordernis nach gefahrloserer Ausdehnungsmöglichkeit der Kesselbauelemente mit anderen Mitteln Rechnung tragen kann, obgleich meine Ergebnisse der weit verbreiteten Annahme vom gemeinschaftlichen und gleichgerichteten Wasserumlauf einen harten Stoß versetzen.

Dr. Otte schlägt hierfür an Stelle der beiden Unterkessel vor, nur eine Trommel anzuordnen, was bei Kesseln mit Garbeplatten aus konstruktiven Gründen nicht möglich ist. Besser erscheint mir sein Vorschlag, die hintere Obertrommel tiefer zu legen, wenn die Kesselbauart eine solche Umänderung gestattet, doch wird dadurch die Dehnungsfähigkeit der Kesselbestandteile nicht verbessert. [Z 238]

Nürnberg. Maas.

[1]) Vgl. meinen Aufsatz Z. Bd. 67 (1923) S. 1021.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 21 SONNABEND, 24. MAI 1924 BD. 68

Glastechnik.

INHALT

Glastechnik in Vergangenheit und Zukunft.

Von Dr. Hans Schulz, Berlin-Lichterfelde.

Die Geschichte der Glastechnik ist aufs engste mit der Auffassung des Glasbegriffes verknüpft. Die in neuester Zeit erkennbare Abkehr von der rein chemischen Einstellung und die Einführung physikalisch-chemischer Begriffe führt auf eine Reihe neuer betriebstechnischer Fragen, die der Lösung harren, aber nur durch zielbewußte gemeinsame Arbeit beantwortet werden können.

Wenn auch in neuerer Zeit durch die hervorragenden Erfolge der Technik der Widerstand gegen Neuerungen im allgemeinen entschieden geringer geworden ist, so ist doch der in früherer Zeit ausgeprägte Zunftgedanke hie und da noch immer vorhanden. Zwar ist die Abneigung des Zünftlers gegen die von außen kommenden Anregungen dadurch erklärlich, daß häufig genug die an sich guten Anregungen, die fremden Kreisen entstammen, so bestechend sie an sich auch sein mochten, bei ihrer praktischen Durchführung an allerhand praktischen Schwierigkeiten scheiterten. Anderseits darf aber auch nicht vergessen werden, daß die immerhin einseitige Facherziehung das Aufkommen neuer Gedanken erschwert. Wer einmal in einem bestimmten Gedankenkreise heimisch ist, wird stets durch die überkommene Auffassung eine gewisse Hemmung erfahren, die zu überwinden nur wenigen beschieden ist.

Die Geschichte der Glastechnik kann zur Bestätigung dieser Ansicht dienen. Als eine der ältesten Industrien hat sie eine so starke Überlieferung und ein so großes Beharrungsvermögen, daß sich der Wert jeder Neuerung erst in einer großen Zahl von Fällen erweisen muß, um als wirklich vorhanden anerkannt zu werden.

Glas und Glastechnik in der Vergangenheit.

In der Glastechnik der Vergangenheit sind vier große Abschnitte klar erkennbar, die sich durch die Auffassung des Glasbegriffes und die Art der Arbeitsverfahren kennzeichnen. Der erste Abschnitt, der mit der weder zeitlich noch örtlich bestimmbaren Erfindung des Glasschmelzens beginnt, betrachtet das Glas als ein mit den natürlichen Körpern gleicher Art (Obsidian) identisches Erzeugnis, das bei höherer Temperatur durch Kneten oder Pressen in beliebige Formen gebracht werden kann. Die Bearbeitungsverfahren des in seiner Zusammensetzung ziemlich einfachen Glases (vergl. Zahlentafel 1), eines Kalknatron-Silikates mit verschiedenen färbenden Beimengungen, schließen sich eng an die aus der Metalltechnik bekannten an. Für die Herstellung von Hohlgefäßen werden Tonkerne benutzt oder die Hohlkörper werden ähnlich wie Tongefäße durch Kneten geformt, nur daß die Temperatur für die Formung entsprechend hoch sein muß. Erst im zweiten Zeitabschnitt beginnt die Blasarbeit, die als

Zahlentafel 1.

Analysen ägyptischer Gläser nach Benrath in vH.

	SiO_2	Na_2O	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MnO
Glasstab	72,30	20,83	5,17	0,51	1,19	—
Spielmarke	70,58	20,70	6,54	0,99	1,19	Spuren
Spielmarke	71,15	18,76	8,54	0,25	0,84	0,44

wesentliche Vereinfachung des Formvorganges aufzufassen ist. Ein Fortschritt der Bearbeitungstechnik also ist es, der den neuen Abschnitt einleitet.

Natürlich mußte mit der stärkeren räumlichen Ausbreitung der Glasherstellung und der dadurch bedingten Benutzung verschiedenartiger Rohstoffe auch die Zusammensetzung gewissen Veränderungen unterworfen sein. Wenn man aber die Analysen älterer Gläser vergleicht, so ergibt sich als Grundmasse stets ein Alkalikalk-Silikat, dessen sonstige Bestandteile vorwiegend als zufällige Beimengungen zu betrachten sind, die mit der als Gemengebestandteil benutzten Holzasche in das Glas gelangten, soweit nicht schon von altersher färbende Stoffe wie die Eisenoxyde, Kupfer, Manganoxyd und Sulfide willkürlich zugesetzt wurden, die bereits in der hochentwickelten Glasurtechnik der Ägypter verwendet wurden.

Die eigentliche Schmelztechnik beider Zeitabschnitte, die aber noch später in ihren Grundzügen beibehalten wurde, umfaßte die Herstellung der Fritte, das Aussondern brauchbarer Stücke nach dem Zerschlagen und das eigentliche Schmelzen, ein Herstellungsgang, der durch die geringen erreichbaren Temperaturen bedingt war, die ein Läutern im Feuer noch nicht ermöglichten. Hieran schloß sich dann die Kühlung der Glasgegenstände.

Der dritte Abschnitt, etwa mit dem 17. Jahrhundert beginnend, läßt schon eine eingehende Erforschung des Materials erkennen, wohl bedingt durch die alchymistischen Arbeiten, die sich mit der Umwandlung der Stoffe befaßten. In Kunkels berühmter „Ars vitraria“ werden bereits die Vorschriften auf einigermaßen bestimmbare Rohstoffe bezogen, doch ist ein schneller Fortschritt noch durch die allgemein übliche Geheimniskrämerei behindert, der sich auch Kunkel nicht entziehen konnte, obwohl er anderseits in großzügiger Weise bemüht war, das Wissen seiner Zeit und seine eigenen reichen Erfahrungen im Anschluß an die Ausführungen Neris und Merrets zum Nutzen der Glastechniker wiederzugeben.

Einfluß der neueren Chemie.

Erst mit dem Sturz der Phlogistontheorie und der Begründung der neueren Chemie, vor allem durch die Atomgewichtbestimmungen konnten quantitative Vergleiche angestellt werden, und der gleichzeitig etwa um das Jahr 1800 beginnende vierte Abschnitt der Glastechnik hat daher wesentliche Unterlagen zur Bestimmung des Glasbegriffes und zur Beurteilung der chemischen Vorgänge bei der Glasbildung erbracht. Die Bemühungen der mit den Hilfsmitteln der neueren Chemie arbeitenden Forscher mußten sich aber verständlicherweise darauf erstrecken, die „che-

mische Formel“ des Glases oder vielmehr der Gläser festzustellen, die als haltbar zu bezeichnen waren.

So entstanden die von Weber, Tscheuschner und Körner angegebenen Molekularformeln, in denen sich gleichzeitig der Gedanke der Ersetzbarkeit bestimmter Oxyde durch chemisch ähnliche ausprägte. Der Kreis der alten glasbildenden Oxyde (SiO_2, CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O, PbO), die allein als wesentliche Bestandteile aller bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts regelmäßig hergestellten Gläser betrachtet werden können, wenn man von färbenden und trübenden Beimengungen absieht, die aber die mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften der Gläser nur unwesentlich zu verändern gestatteten, ist während dieser Zeit erweitert worden; doch sind die bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts angestellten Versuche zur Einführung neuer Glasoxyde ohne unmittelbare praktische Folgen geblieben. Die von Guinand in Gemeinschaft mit Fraunhofer ausgeführten Schmelzversuche stellen den ersten planmäßigen Schritt zu dem Ziele dar, die Eigenschaften des Glases durch willkürliche Änderung der Mengenverhältnisse der alten Oxyde und Einführung neuer Oxyde zu beeinflussen und die ursprünglich engen Grenzen der Glaseigenschaften zu erweitern. Erfolge waren wohl zu verzeichnen, namentlich hinsichtlich der Gleichmäßigkeit und Reinheit des erzeugten Glases, doch war das Arbeitsgebiet — die Herstellung von optischem Glas bestimmter Eigenschaften — zu eng gewählt, um wirklich nachhaltigen Einfluß zu ergeben. Das gleiche Schicksal hatten die Arbeiten Döbereiners sowie Faradays und Harcourts.

Fortschritte der Feuerungstechnik und der Fertigung.

Immerhin ist ein Ergebnis all dieser Versuche festzustellen: Die Einförmigkeit der alten Glasarten war überwunden und die Aufmerksamkeit der eigentlichen Glastechniker war auf Mängel der Fertigungsverfahren gelenkt worden, die der Erzeugung möglichst gleichmäßiger fehlerfreier Schmelzen von gewünschter Zusammensetzung entgegenstanden. Als zwingend notwendig ergaben sich zunächst die Verbesserung der feuerungstechnischen Anlagen und die eingehende Überwachung des Fertigungsvorganges. Auf die teilweise sich widersprechenden Bedingungen hat schon Faraday hingewiesen: Die Beseitigung von Schlieren und andern Unregelmäßigkeiten der Zusammensetzung ist nur durch eine innige Mischung, also eine lebhafte Bewegung der Schmelze zu erreichen; die Beseitigung der Blasen in erster Linie durch einen Ruhezustand, der ein Aufsteigen der Bläschen in in der zähen Masse ermöglicht. Im ganzen genommen ist während des letzten Zeitabschnittes der Hauptwert auf eine Verbesserung der feuerungstechnischen und maschinellen Einrichtungen zur Erreichung wirtschaftlicher Vorteile gelegt worden. Die Geschicklichkeit des Glasbläsers ist wenigstens teilweise ausgeschaltet und durch die Genauigkeit der Maschine ersetzt worden, die gleichzeitig die Kräfte des Arbeiters bei weitem übertrifft und die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens vergrößert[1]), wofür vor allem die selbsttätigen Flaschenblasemaschinen und die Libbey-Owens-Fensterglas-Ziehmaschinen als Beispiel dienen mögen, die nur für Massenerzeugung in Betracht kommen, während die Halbautomaten dem Bedürfnis vielseitiger Formen und Größen Rechnung tragen.

Während sich aber die Entwicklung all dieser unverkennbar maschinellen Fortschritte bis auf die Jetztzeit gleichmäßig fortgesetzt hat und auch die Entwicklung der Feuerungstechnik von der Einführung der Gasfeuerung an Stelle der früher üblichen unmittelbaren Holzfeuerung ununterbrochen ist, zeigt sich mit Beginn der achtziger Jahre infolge des Eindringens physikalisch-chemischer und rein physikalischer Gedankengänge eine Spaltung in der Auffassung des Glasbegriffes. War im letzten Abschnitt, wie bereits erwähnt, das Bestreben maßgebend, das Glas als eine chemische Verbindung zu bestimmen, so hatten doch die planmäßigen Versuche der erwähnten Forscher gezeigt, daß nicht nur eine beträchtliche Zahl von Gläsern von verschiedenartigster Zusammensetzung erzeugt werden konnten, sondern daß die Herstellung einer ununterbrochenen Reihe brauchbarer Gläser mit kontinuierlich veränderlichen Eigenschaften möglich war, was dem rein chemischen Begriff der multiplen Proportionen widersprechend zu der neuen Auffassung des Glases als einer unterkühlten Lösung oder Mischung führen mußte.

Daß die Arbeit der Chemiker von großem Erfolge begleitet war und durch sie eine stattliche Zahl neuer Gläser zum mindesten in kleinem Maßstabe hergestellt worden war, dürfte hinreichend bekannt sein. Otto Schott, der Gründer des Jenaer Glaswerkes, war anerkanntermaßen der erste neuzeitliche Glaschemiker, der sich durch die anfänglichen Mißerfolge nicht entmutigen ließ und die Übertragung der Laboratoriumsversuche in die Glashütten durchführte, der also neben hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen auch technisch genügend geschult war, um die Schwierigkeiten bei der Übertragung der Laboratoriumsversuche in den Großbetrieb zu überwinden.

Doch hat er bereits erkannt, daß die rein chemische Einstellung bei Bearbeitung glastechnischer Aufgaben nicht genügte, daß man vielmehr, wie bereits angedeutet, physikalisch-chemische und rein physikalische Verfahren heranziehen mußte, um die Vorgänge beim Schmelzen, Läutern, Kühlen vollkommen verstehen zu können und damit zu einer vollkommenen Beherrschung des gesamten Herstellungsganges zu gelangen.

Faßt man die Fortschritte des vierten Abschnittes der Glastechnik kurz zusammen, so ergibt sich zunächst eine Vermehrung der Zahl der glasbildenden Oxyde, von denen Borsäure und Phosphorsäure eine besondere Stellung einnehmen und vermöge der Ausbildung der chemischen Analyse auch die Möglichkeit, Vorschriften für Gemengegesetze eindeutig zu fassen und die Änderung der chemischen Zusammensetzung während des Schmelzvorganges zu überwachen. Die Entwicklung der physikalischen Meßverfahren, besonders der Temperaturmessungen, erlaubte eine genaue Überwachung des Herstellungsganges und die Einhaltung bestimmter äußerer Bedingungen während des Schmelzens, der Verarbeitung und des Kühlens. Ferner konnten die physikalischen Eigenschaften der Gläser und damit ihre Geeignetheit für bestimmte Anwendungen zahlenmäßig festgelegt werden.

Die neuzeitliche Glastechnik.

Abkehr von der rein chemischen Auffassung des Glasbegriffs.

Die neuzeitliche Glastechnik ist also gekennzeichnet durch eine Abkehr von der rein chemischen Erfassung des Glasbegriffes. Das Glas wird nicht mehr als einheitliche chemische Verbindung aufgefaßt, sondern als ein Gemisch solcher, als eine Lösung, die bei gewöhnlicher Temperatur zwar die mechanischen Eigenschaften eines sogenannten festen Körpers aufweist, also ihre Form beibehält, die aber anderseits trotz ihrer scheinbaren Starrheit tiefgehenden inneren Umwandlungen physikalischer Natur unterliegen kann, indem, angeregt und begünstigt durch Erschütterungen, Wärmeeinflüsse oder chemische Veränderung der Oberfläche, der mechanische Zusammenhang gestört wird oder Kristallisationserscheinungen auftreten.

Die Grundzüge dieses Gedankens lassen sich auch im vorigen Abschnitt schon nachweisen. Wenn man versucht hat, die Eigenschaften des Glases in Abhängigkeit von der in Hundertteilen angegebenen Menge der in ihnen enthaltenen Oxyde als eine lineare Funktion dieser darzustellen, wie dies in fast allen in den neunziger Jahren erscheinenden Arbeiten aus dem Jenaer Glaswerk der Fall ist, so liegt darin bereits eine bewußte Verleugnung des für die Chemie grundlegenden Gesetzes der multiplen Proportionen: Die Gläser konnten keineswegs mehr chemische Verbindungen von der verhältnismäßig einfachen Form der Mono-, Di- oder Tri-Silikate sein, selbst komplexe Verbindungen konnten eine solche Kontinuität nicht ergeben, sondern es mußte sich um Mischungen handeln, da ja bekanntlich ein Element, sobald es zum Bestandteil eines andern Moleküls wird, wenigstens einen Teil seiner Eigenschaften diskontinuierlich ändert.

Die grundlegende Frage kann also nicht mehr die nach der chemischen Formel brauchbarer Gläser sein, sondern sie muß sich auf die Löslichkeit der einzelnen in den Gläsern möglichen chemischen Verbindungen ineinander, ihr Zustandsdiagramm im thermodynamischen Sinn erstrecken. Alle übrigen Fragen hängen eng mit dieser Frage zusammen, so z. B. die der Entglasung, der Kühlung und die der Ermittlung der Bearbeitungstemperaturen für Blasen, Pressen, Gießen usw.

Die planmäßige Bearbeitung dieser Fragen in Deutschland bis zum Kriegsausbruch ist rein wissenschaftlicher Art gewesen, und die gegenseitige einer schnelleren Entwicklung förderliche Befruchtung von Theorie und Praxis ist auf ein sehr bescheidenes Maß beschränkt geblieben. Zu welchen Erfolgen aber eine solch enge Zusammenarbeit führen kann, möge durch einen kurzen Auszug aus der Veröffentlichung von A. Day[2]) belegt werden. Bekanntlich bezog Amerika vor dem Krieg einen erheblichen Teil seines Bedarfes an hochwertigem Glas (optisches Glas, chemisches Geräteglas usw.) und Glaswaren aus Deutschland, und der mit dem Ausfall der deutschen Lieferungen bald fühlbare Mangel veranlaßte die Regierung der Vereinigten Staaten, mit allen verfügbaren Mitteln die Herstellung von solchem Glas zu fördern.

[1]) G. Keppeler, Die Grundlagen des Fortschrittes in der Glasindustrie Z. Bd. 67 (1923) S. 509/512.

[2]) A. Day, Journ. of the Franklin Inst. Bd. 190 (1920) S. 453/72.

Day schreibt: „Die Frage der Beschaffung optischen Glases in gleicher Menge und Beschaffenheit war daher eine der dringendsten von dem Augenblick an, in dem die Teilnahme am Kriege erwogen wurde."

Der Ende März 1917 gewählte Ausschuß des Marineministeriums erstattete einen Bericht, in dem die Bearbeitung des ganzen Gebietes durch das „Bureau of Standards" empfohlen wurde, das bereits im Jahre 1915 Versuchsschmelzen ausgeführt und sich die Beschaffung geeigneten Hafentones hatte angelegen sein lassen. Wenn nun auch außerdem von den Firmen Bausch & Lomb, Keuffel & Esser, der Spencer Lens Co., Hazel-Atlas Co. und der Pittsburgh Plate Glass Co. kleinere Versuchsarbeiten gemacht worden waren, so konnte doch dem Bedarf von Heer und Flotte keineswegs genügt werden. Durch Verfügung vom 18. April 1917 wurden alle Hilfsmittel des Geophysikalischen Laboratoriums des Carnegie Instituts in Washington, auch der Stab der Wissenschaftler, zur Bearbeitung der Aufgabe herangezogen. Als Ergebnis dieser Bemühungen war zu verzeichnen, daß etwa nach vier Monaten die Herstellung optischen Glases auf das Doppelte gesteigert war, daß neue Glasarten hergestellt werden konnten und die Herstellungsverfahren verbessert waren. Wright konnte seine Erfahrungen während dieser Zeit in der Form aussprechen: „Wir haben gefunden, daß die Herstellung von Qualitätsglas keine Geheimnisse darbietet, die nur von einem auf diesem Gebiet geschulten intuitiven Geist erforscht werden könnten, sondern daß sie eine vollkommen klare wissenschaftliche Aufgabe darstellt, deren Lösung nur die Anwendung wissenschaftlicher Arbeits- und Untersuchungsverfahren braucht, die bei allen Präzisionsarbeiten wissenschaftlicher Art üblich sind."

Der Erfolg hat die Richtigkeit dieser Ausführungen bestätigt. Aus den zahlreichen Veröffentlichungen des Geophysikalischen Laboratoriums, die sich auf alle Einzelfragen von der Untersuchung des Rohstoffes bis zur Feinkühlung erstrecken, findet sich eine Fülle wertvoller Unterlagen, denen höchstens noch die Arbeiten der englischen Society of Glass Technology gegenübergestellt werden können.

So klar die Bedeutung wissenschaftlicher Forschung in angelsächsischen Ländern erkannt ist — es möge nur noch auf die Veröffentlichungen von A. Silverman[1]) und E. W. Tillotson[2]) hingewiesen werden —, so gering erscheint der Fortschritt in Deutschland in den letzten zehn Jahren, wenn man von den maschinentechnischen Verbesserungen absieht. Im Gegensatz zu der Metallindustrie, die mit Hilfe der Zustandsdiagramme für jede der zahlreichen Legierungen die jeweilig notwendige Behandlungsweise festgestellt hat und auch im Betrieb überwacht, ist im gewöhnlichen Glashüttenbetrieb nur wenig von einer solchen Überwachung des Materials zu finden, obwohl jede Glasart ebenfalls eine besondere Behandlung bedingt.

Physikal-chemische Auffassung des Glasbegriffes.

Man wird sich daran gewöhnen müssen, in dem Glas ein Gemenge mehrerer Bestandteile, chemischer Individuen zu sehen, deren Mengenverhältnis nicht nur durch das ursprünglich vorhandene Verhältnis der Oxyde gegeben ist, sondern auch durch die Reaktionstemperaturen und die zufälligen Beimengungen. Es ist theoretisch nicht unmöglich, daß gewisse Substanzen als Kontaktsubstanzen wirken, allgemeiner gesprochen, das chemische Gleichgewicht verändern. Ein vollkommen klares Urteil hierüber kann noch nicht abgegeben werden, da bisher kaum das Verhalten der einfachsten Gemische eingehend untersucht worden ist, doch deutet z. B. das Verhalten der Borsäure bezüglich der Veränderung der optischen Eigenschaften auf einen solchen Vorgang hin; ebenso läßt der eigenartige Gang des elastischen Verhaltens der Bleigläser mit steigendem Gehalt an PbO das Auftreten verschiedenartiger chemischer Verbindungen bei verschiedenem Mengenverhältnis vermuten: Selbst im einfachsten Zustandsdiagramm des Systems $CaO—SiO_2$ konnten bereits drei Eutektika und zwei Verbindungen nachgewiesen werden.

Es ist daher als dringende Aufgabe zu betrachten, den Einfluß der einzelnen Gemengebestandteile auf die Grundsubstanz eingehend zu untersuchen, und zwar kann es nicht als ausreichend betrachtet werden, die physikalischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der in Hundertteilen angegebenen Menge der vorhandenen Oxyde aufzustellen, sondern es müssen die einzelnen möglichen Gleichgewichtzustände ebensowohl berücksichtigt werden. Da bereits alle Elemente (mit verschwindenden Ausnahmen) als glasbildende Substanzen verwendet worden sind, durch einfache Hinzufügung neuerer Elemente die Zahl möglicher Gläser also kaum mehr erweitert werden kann, so muß also das Bestreben neuzeitlicher Glastechniker in erster Linie darauf gerichtet sein, durch planmäßiges Probieren zunächst innerhalb verhältnismäßig einfacher Gemengeverhältnisse ein vollkommenes Bild des physikalisch-chemischen Verhaltens und der Veränderung der Eigenschaften mit der Temperatur zu gewinnen.

Bedenkt man z. B., daß der Gang der Viskosität mit der Temperatur nicht nur unmittelbar für die Bearbeitung wichtig ist, sondern daß die Entglasungsneigung durch geringere Viskosität befördert wird, so zeigt sich hieraus schon die Bedeutung der physikalisch-chemischen Auffassung des Glasbegriffes. Nur über wenige Systeme liegen bisher einwandfreie Beobachtungen vor, und selbst bei diesen ist nur der allgemeine Gang bekannt. Die Voraussetzung, daß die Aufhebung der Unterkühlung um so leichter ist, die Kristallausscheidung also um so stärker begünstigt wird, je dünnflüssiger die Schmelze beim Schmelzpunkt oder einer andern definierten Temperatur ist, gilt nur angenähert und nur bei Schmelzen ähnlicher Zusammensetzung. Wenn auch die stark viskosen Silikate im allgemeinen geringe, die weniger viskosen größere Kristallisationsgeschwindigkeit haben, so kann doch die Zähigkeit nicht allein als Maß der Entglasungsneigung aufgefaßt werden, da z. B. bei dimorphen Körpern, die im Schmelzflusse naturgemäß gleiche Viskosität haben, für beide Kristallformen ungleiche Kristallisationsgeschwindigkeit auftritt und sich endlich auch je nach den Umständen verschiedene Kristalle aus der gleichen Schmelze ausscheiden können. So sind bei Kalkalkaligläsern kristallinische Ausscheidungen von Kieselsäure und von Wollastonit beobachtet worden, ohne daß es bisher gelungen wäre, die Bedingungen für die Ausscheidung der einen oder andern Kristallart klarzustellen. Solange aber diese noch nicht genau bekannt sind, können auch keine unfehlbaren Mittel gegen das Entglasen angegeben werden.

Bekannt ist die entglasungsfeindliche Wirkung der Kieselsäure, die meist auf die Erhöhung der Viskosität zurückzuführen ist, ebenso der gute Einfluß von Tonerde, deren Anwesenheit im Thüringer Röhrenglas die gute Verarbeitbarkeit in der Gebläseflamme bedingt. Anderseits läßt sich die Ausscheidung kristallinischer Aggregate in einer amorphen Grundmasse durch Zufügung von Phosphaten oder Fluoriden leicht hervorrufen: Die Tatsache des kristallisationsfördernden Einflusses der Röntgenstrahlen zeigt aber, daß auch andre Ursachen, auch solche rein physikalischer Natur, die Bildung von Kristallkernen veranlassen können. Möglicherweise kann auch die durch starkes Temperaturgefälle bedingte innere Spannung, ähnlich wie mechanische Beanspruchung bei Metalldrähten, die Bildung und das Wachstum von Kristallen befördern.

Zukunftsaufgaben.

Somit sind für die Bildung der Glasmasse und für ihr Verharren im amorphen Zustand noch eine Reihe von Fragen zu lösen, die neben ihrem theoretischen Wert auch für die Praxis von Bedeutung sind, insofern als eine hinreichende Kenntnis der Entglasungserscheinungen diesen meist unerwünschten Vorgang auf die Fälle zu beschränken gestattet, in denen Kristallausscheidungen beabsichtigt werden. Das gleiche gilt aber auch vom Verhalten des Glases bei der Abkühlung.

Als amorphe unterkühlte Flüssigkeit hat das Glas keinen Schmelzpunkt, und die Bestimmung irgendeiner Grenztemperatur, die man erreichen muß, um eine gleichmäßige Schmelze zu erhalten, stößt auf große Schwierigkeiten. Der Versuch, durch starke Temperaturerhöhung die Dünnflüssigkeit der Schmelze zu erhöhen, muß aber als gefährlich bezeichnet werden, da bereits bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, etwa 800 bis 900 °C ein Verdampfen der Alkalien eintritt, wodurch die ganze Glasmasse in ihrer Zusammensetzung geändert wird. Die teilweise eintretende Verdampfung einerseits, die Sonderung der Bestandteile nach ihrem spezifischen Gewicht anderseits (bei Bleigläsern z. B.) sind ebenfalls noch wenig erforscht.

Die Notwendigkeit, „Grenztemperaturen" für die verschiedenen Gläser zu bestimmen, hat nun zur Festlegung einer ganzen Reihe verschiedener Temperaturen geführt, von denen nur die Senk- oder Deformationstemperatur, die Ziehtemperatur, die Tropftemperatur, Fließtemperatur, obere und untere Entglasungstemperatur, Kohäsionstemperatur und Ausgleichtemperatur genannt sein mögen, von denen die ersteren für die Bearbeitung, die letzteren für die Kühlung des Glases von Wichtigkeit sind. Die Zusammenhänge dieser verschiedenen mehr oder weniger einwandfrei bestimmten Temperaturwerte mit der Zusammensetzung der Gläser sind nur für wenige Gläser bekannt, obwohl eine wirtschaftliche Ausgestaltung des Kühlvorganges, mag es sich nun um eine Abkürzung der Kühlzeit oder die Einschränkung des Verlustes handeln, nur bei Berücksichtigung dieser

[1]) A. Silverman, „The Glass Industry" I 1920 S. 1/4.
[2]) E. W. Tillotson, „Chemical and Metallurgical Engineering" 1920 Heft 10.

Festwerte möglich ist. Die wenigen deutschen Arbeiten über dieses Gebiet sind sofort von Engländern, Amerikanern und Franzosen benutzt und weitergeführt worden, und namentlich die Ergebnisse von Adams und Williamson sind als außerordentlich wertvoll zu bezeichnen.

Auch die Beurteilung des chemischen Verhaltens der Gläser ist durch die physikalisch-chemische Auffassung des Glasbegriffes wesentlich beeinflußt worden. Nicht nur die chemische Affinität der das Glas angreifenden Substanzen im alten Sinne, sondern auch der Begriff des chemischen Gleichgewichts muß beachtet werden, wenn man die chemische Widerstandsfähigkeit begrifflich bestimmen will. Man könnte sogar geneigt sein, die Tamannsche Auffassung der Schutzwirkung bestimmter Bestandteile bei bestimmter räumlicher Anordnung zur Erklärung der eigenartigen Löslichkeitsverhältnisse heranzuziehen.

Zusammenfassung.

Im Rahmen dieser Ausführungen kann es sich nur darum handeln, den heutigen Zustand der Glastechnik und die Ziele für die nächste Zeit zu kennzeichnen, und man kann dies nach dem bereits Gesagten am besten in folgender Weise tun:

Im gegenwärtigen Zeitabschnitt ist die Glastechnik durch eine beispiellose Entwicklung der Feuerungstechnik und der maschinellen Einrichtungen in die Notwendigkeit versetzt worden, ähnlich wie die Metallindustrie schon früher, die Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials bis ins kleinste zu erforschen, damit bei der vielseitigen Anwendung des Glases und der im einzelnen ausgearbeiteten Bearbeitungsverfahren in jedem Falle die geeigneten Mengenverhältnisse und die geeigneten Bearbeitungsbedingungen hinsichtlich der Temperatur, des Druckes usw. ohne kostspieliges Probieren gewählt werden können. Wenn tatsächlich eine in jeder Beziehung zweckmäßige Einstellung des Fertigungsvorganges erreicht wird, ist die deutsche Glasindustrie in der Lage, sich gegenüber dem ausländischen Wettbewerb zu halten, möglicherweise sogar Boden zu gewinnen.

Hierin ist auch schon der zukünftige Arbeitsplan gegeben, der im einzelnen durch die bereits berührten Fragen näher erläutert worden ist. Die im Zeitabschnitt der reinen Chemie beginnenden Fragen sind durch die physikalisch-chemischen Arbeiten der letzten Jahre klar herausgeschält worden. Sie greifen in jede Stufe des Fertigungsvorganges von dem Einschmelzen an bis zum Kühlen ein, erfordern aber dringend ein gemeinsames Arbeiten nach einem einheitlichen Plane, da jede Geheimniskrämerei nur zu Verwirrung und Rückschritt gegenüber den zielbewußt arbeitenden Organisationen des Auslandes führen muß. [A 239]

Glas als Baustoff.

Sieht man ab von der Schöpferkraft eines Abbe, Schott und Zeiß, deren Arbeit sich hauptsächlich in besonderer Richtung bewegte, der Vervollkommnung des Glases zu bestimmten Zwecken, so muß man die Frage aufwerfen: weshalb hat das Glas als Kulturfaktor ersten Ranges die Architektur im Laufe der Jahrhunderte so wenig oder gar nicht beeinflußt, weshalb ist das Glas noch kein Baukörper, kein Baustoff im allgemeinen Sinne des Wortes geworden, weshalb blieb die Verwendung des Glases für Bauzwecke auf so engen Rahmen begrenzt? Wo sich im Rahmen der Architektur eines Bauwerkes das Glas heraushebt, wird es vorwiegend den Charakter der Ausschmückung haben und allenfalls in Gestalt der Glasmosaik mit der Architektur im engeren Sinne verschmelzen.

Als Baustoff und damit als Baukörper — wenn der Begriff darauf überhaupt anwendbar — ist das Glas bis vor wenigen Jahrzehnten über die bloße Fensterscheibe nicht hinausgekommen. Erst als Professor Mohrmann in den achtziger Jahren mit abgeschlossenen Versuchsergebnissen „über Berechnung der Tagesbeleuchtung innerer Räume" hervortrat, sich ferner die Ärzteschaft, wie Professor Hermann Cohn, Breslau, um die Tagesbeleuchtung in Schulzimmern verdient machte, wurde dem Glas in Baukreisen allgemeinere Beachtung geschenkt — aber auch nur als Mittel zum Zweck. In ungefähr dieselbe Zeit fällt das seitens der amerikanischen Regierung erlassene Preisausschreiben „zur Verbesserung der Tageslichtbeleuchtung für Innenräume über und unter der Erde". Der Erfolg war: die Erfindung eines Beleuchtungssystems mittels prismatischer Glastafeln, das bald mit gutem Erfolg in die Praxis umgesetzt wurde. In dieser Erfindung lag zunächst der Ansatz, das Glas in besonderer Gestalt für besondere Bauzwecke heranzuziehen, wo es als bloße Fensterscheibe versagte oder überhaupt nicht anwandbar war. Damit wurde das Glas nun im engeren Sinne des Wortes ein Baukörper, den Baumeister und Architekten oft aus freien Stücken, oft nur notgedrungen gebrauchten, namentlich dort, wo es galt, die Lichtquelle zur Nutzbarmachung von Räumen über und unter der Erde rationell auszunutzen.

Im Laufe der Jahre wurde dieses System der Lichtbrechung und Lichtzerstreuung ausgebaut, die Aufmerksamkeit der Baukünstler angeregt. Es wurden sogar in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte durch besondere Sonder-Glaskonstruktionen gemacht. Genannt seien nur feuersichere Verglasung, sogenanntes Elektroglas, plastische Glaskristalldecken, Glasdecken, Wände und Fenster in Verbindung mit Eisenbeton usw. Wenn somit das Glas in konstruktiver und künstlerischer Beziehung durch Ausgestaltung und Form auf dem Gebiete des Bauwesens weitere und größere Beachtung und vielseitigere Verwendung fand, so blieb es als Glasmaterial immerhin nur in Gestalt von und in Zusammenhang mit besonderen Glaskonstruktionen auf gewisse Bauzwecke begrenzt, ohne daß sich Architekten und Baukünstler mit ihm als Baustoff und Baukörper eingehender oder überhaupt nur befaßt hätten. Dieses Interesse erwachte erst etwa im letzten Jahrzehnt, als einzelne Baukünstler das Glas in der Architektur ihres Bauwerkes ausdrucksweise hervorhoben und es sogar in den Vordergrund ihrer Architektur stellten, also nicht mehr bloß als Mittel zum Zweck, sondern als Glasbau, im wirklichen Sinne des Wortes (z. B. das Glashaus auf der Kölner Werkbundausstellung 1914 von Architekt Bruno Taut).

Mit allen diesen das Glas als Grundlage benutzenden Sonderkonstruktionen konnte wohl zu dem Bauen mit Glas angeregt, dem Glasbau wohl die Wege gewiesen, neue Möglichkeiten erschlossen werden. Das Selbstverständliche aber, das Glas von der umhüllenden Konstruktion frei zu machen, in sich selbst oder aus sich heraus herrschend als Baustoff und Baukörper wirken zu lassen, scheiterte weniger an dem Unvermögen der Baumeister und Baukünstler als an dem Material, dem Glase selbst. Viel zu wenig wurde und wird dem Glasmaterial von seiten der Architektenschaft Beachtung geschenkt. Der Grund hierfür ist, daß die Materie schreckt. Ingenieur und Techniker stoßen sich an dem leicht Zerbrechlichen, Unbestimmten, Ungewissen, der Architekt an dem Spröden und Starren des Stoffes. Den Künstler reizt wohl das Geheimnisvolle, der Glanz, und regt zu Zierschmuck an, nicht aber zur Formgebung und Gliederung für Architektur- und Bauzweck.

Die exakte Wissenschaft muß denen, die für den Glasbau arbeiten, sich einsetzen und abmühen, zu Hilfe kommen, um zu erreichen, daß das Bauen mit Glas etwas Selbstverständliches werde.

Es muß gelingen, die Schwächen des Materials, die dem allgemeinen und wirtschaftlichen Gebrauch des Glases für Architektur- und Bauzwecke entgegenstehen und ihn hindern, zu überwinden. Deutsche Architekten und Baumeister sollten die treibende Kraft sein, von der deutschen Glasindustrie zu fordern, ein für rein bautechnische Zwecke bestimmtes und gebrauchsfähiges Glasmaterial hervorzubringen. Deutsche Hüttenfachleute, deutsche Wissenschaft sollten das Bauglas schaffen, das allgemeinen Bauzwecken dienstbar gemacht werden kann. Es gilt, das Starre und Spröde des Glases zu brechen und in mancherlei Beziehung die Wandlungsfähigkeit des Glases zu beheben, wobei die Lichtbrechung und das Lichtzerstreuungsvermögen des Glases nicht außer acht gelassen werden darf. Die praktische Anwendungsweise des Glases bedingt neben gewissen Normaleigenschaften die Möglichkeit zu sparsamer, billiger und praktischer Bauweise. Muß hierfür etwa eine neue Glastechnik auf wissenschaftlicher Grundlage ins Auge gefaßt werden, darf auch davor nicht zurückgeschreckt werden.

Im Glasbau ruhen ungeahnte Möglichkeiten — eine neue Architektur — ein neues Zeitalter — eine neue Kultur. [M 354] P. Liese.

Die maschinelle Herstellung von Drahtglas.

Von Oberingenieur R. Simon, Köln-Ehrenfeld.

Geschichtliche Entwicklung der Herstellungsverfahren für Flachglas. Blasen, Auswalzen auf Platten, Auswalzen zwischen Walzen. Drahtglas. Vor- und Nachteile des Appertschen und Shumanschen Verfahrens. Sonderausbildungen der Walzvorrichtungen. Walztische und Walzmaschinen. Universal-Glaswalzmaschine. Ausnahmekonstruktionen nach dem Überwalzverfahren. Ausblick.

Entwicklung der Herstellungsverfahren.

Das älteste Verfahren, Glastafeln herzustellen, bestand darin, mittels der Glasmacherpfeife Glaszylinder zu blasen, diese alsdann aufzuschneiden, darauf in besonderen Öfen zu Tafeln auszustrecken (Strecköfen) und allmählich abzukühlen, so wie heute noch ein großer Teil des Fenster- und dünnen Spiegelglases — wobei letzteres allerdings noch der weiteren Veredelung bedarf — hergestellt wird[1]). Im Jahre 1688 erfand der Franzose Lucas de Nehou das Verfahren, Glastafeln durch Gießen bzw. Auswalzen herzustellen. Das auf eine Platte ausgegossene Glas wurde mittels einer Walze zu einer Tafel ausgebreitet. Zur Ausbeutung dieses die damalige Flachglasherstellung völlig umstürzenden Verfahrens wurde 1691 in dem verfallenen Schlosse von St. Gobain von der im Jahre 1665 durch Privilegium Ludwigs XIV. gegründeten Gesellschaft gleichen Namens die erste Gußglasfabrik der Welt errichtet.

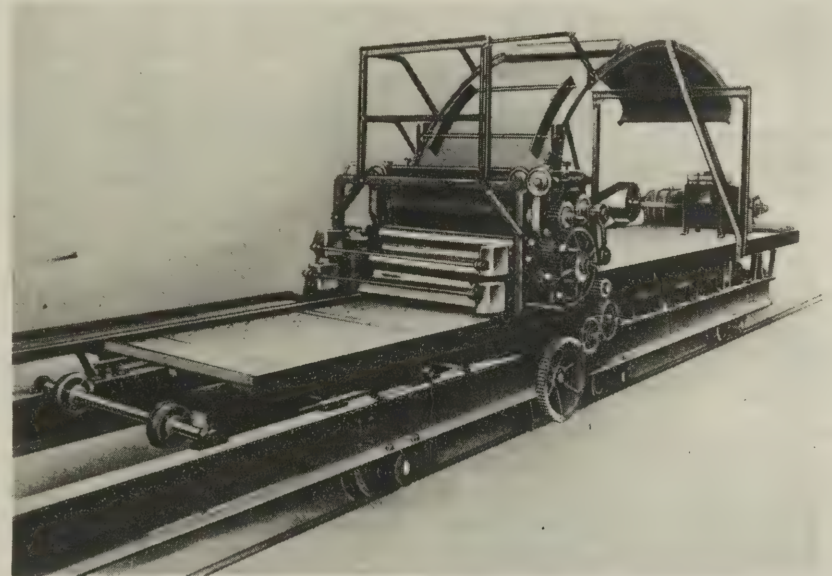
Die Anwendung des Auswalzverfahrens zur Erzeugung von Glastafeln stellt den ersten gewaltigen Fortschritt in der Flachglasherstellung dar. Durch dauernde Verbesserungen fand man in der Folgezeit die heute bestehenden vielen Abänderungen der Walzvorrichtungen, indem man gleichzeitig mehr und mehr zur maschinellen Herstellung überging.

Die Tatsache, daß gewöhnliche Flachglastafeln leicht zerbrechlich sind, regte zu Versuchen an, in die Glasschicht Verstärkungskörper aus Metall einzuschließen, um auf diese Weise ein widerstandsfähigeres Erzeugnis zu erhalten. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde in England bereits ein Patent auf ein solches Verfahren erteilt, in der Praxis zeitigte es jedoch keine brauchbaren Ergebnisse. In den achtziger Jahren wurden alsdann vielerseits ernsthafte Versuche unternommen, Drahtglas herzustellen. Mancher sinnreiche Gedanke ergab bei der praktischen Anwendung ein höchst mangelhaftes Ergebnis; es würde zu weit führen, wollte man alle diese Versuche im Rahmen dieser Abhandlung näher erläutern. Die Schwierigkeit bestand in der Art des Hineinbringens der Drahteinlage in die Glasschicht. Der Vorgang mußte ein schnelles und einfaches, dabei aber durchaus sicheres Arbeiten gewährleisten, wobei gleichzeitig ein Verziehen des Drahtgewebes vermieden, ein Auswalzen beliebig großer Tafeln bei verhältnismäßig geringen Stärken und trotzdem allseitiger Einbettung der Drahteinlage ermöglicht wurde. So fanden sich denn nach mancherlei Mühen und Fehlschlägen in der ersten Hälfte der neunziger Jahre zwei wesentlich voneinander verschiedene Verfahren, die in der Praxis gute Ergebnisse hatten, und nach denen bis heute noch gearbeitet wird.

Am 20. September 1892 wurde dem Amerikaner Frank Shuman in Philadelphia das DRP Nr. 83 081 erteilt; ferner erhielt der Franzose Léon Appert in Clichy (Seine) am 31. Oktober 1893 das DRP Nr. 81 426. Während Shuman das Drahtgewebe in die frisch vorgewalzte Glastafel vermittels einer Rippenwalze eindrückt und die in der Glasoberfläche dabei entstandenen Rillen und Eindrücke durch eine nachfolgende Glättwalze zudrückt, Abb. 1 S. 510, walzt Appert in einem Zuge in unmittelbarer Folge zwei Glasschichten aufeinander aus, wobei das Drahtgewebe zwischen die beiden Schichten eingebettet wird, Abb. 2.

[1]) Vergl. Z. Bd. 67 (1923) S. 538.

Die in den achtziger Jahren von vielen Seiten unternommenen Versuche bewegten sich alle auf Appertscher Grundlage (zweimal Gießen). Wenn auch das Appertsche Patent später als das Shumansche herauskam, so stellt das Shumansche Verfahren doch eine neuere und großzügigere Lösung der Aufgabe der Drahtglasherstellung dar. Die Appertsche Arbeitsweise ist die ältere, die von Shuman die jüngere. Als Hauptvorteil des Appertverfahrens wird das Erhalten einer vollständig glatten Oberfläche der Glasschicht sowie das völlig zwanglose Einlegen des Drahtgewebes angesehen, während nach Shuman durch die Rippenwalze und das einzudrückende Drahtgewebe ein Zerreißen der einmal schon gebildeten Oberfläche stattfindet, was durch nochmaliges Überwalzen mit der nachfolgenden Glättwalze (Zudrückwalze) erst wieder behoben werden muß. Auch geht bei Shuman das Eindrücken des Drahtgewebes nicht ganz ohne Zwang vor sich.



Universal-Glaswalzmaschine zur Herstellung von glattem, geripptem und gerautetem Rohglas sowie Ornamentglas mit oder ohne Drahteinlage, gebaut von Gustav Prüssen, Maschinenfabrik, Köln-Bickendorf.

Während jedoch beim Arbeiten nach Shuman für das Auswalzen einer Glastafel nur ein einziger Guß notwendig ist, also nur mit einer Schöpfkelle gearbeitet zu werden braucht, muß bei Appert zweimal gegossen werden. Das ist ein großer Nachteil des Appertschen Verfahrens, da das doppelte Gießen, das schnell hintereinander erfolgen muß, eine geübte Arbeiterschaft erfordert und den Gießbetrieb erschwert. Nach dem Appertschen Verfahren können jedoch sehr dünne Drahtglastafeln hergestellt werden, was nach Shuman in diesem Maße ohne weiteres nicht möglich ist. Shuman hat, um dies auch für sein Verfahren zu ermöglichen, hierfür eine besondere Ausführung der Walzvorrichtung angegeben, die weiter unten noch näher erläutert werden wird. Im Laufe der Jahre ist es nun gelungen, durch fortgesetzte Verbesserungen die nach Shuman arbeitenden Maschinen so auszubilden, daß die Nachteile dieses Verfahrens nicht mehr in Erscheinung treten, weshalb heute das Shumansche Verfahren das von Appert vielfach verdrängt hat.

Die soeben näher betrachteten beiden Verfahren sind die einzigen, die in wirtschaftlicher Weise die Herstellung von Drahtglastafeln in beliebiger Größe und einwandfreier Güte gestatten, und es lassen sich — abgesehen von verschwindenden Ausnahmen, von denen am Schlusse dieser Abhandlung die Rede sein soll — sämtliche heute angewandten Drahteinbringe-Verfahren entweder auf das Shumansche Verfahren oder auf das Verfahren von Appert zurückführen.

Da Drahtglas eine besondere Art des Flachglases ist, so sind seine Herstellungsverfahren hinsichtlich des Auswalzens der Glasschicht dieselben wie bei jenem. Die einzelnen Auswalzverfahren lassen sich nach den verschiedenen angewandten Prinzipien wie folgt unterteilen:

I. Auswalzen der Glastafel mittels Walze auf einer Platte (Walztisch, Abb. 3),
   1. fester Walztisch mit darüber hinwegrollenden Walzen,
   2. beweglicher Walztisch, nur umlaufende Walzen mit darunter hinweglaufendem Walztisch (Umkehrung von 1).

II. Auswalzen der Glastafel nur zwischen Walzen (Walzmaschine, Abb. 4).
1. Walzmaschine mit feststehendem Aufnahmetisch und hinüberlaufender Walzvorrichtung,
2. Walzmaschine mit beweglichem Aufnahmetisch, nur umlaufende Walzen (Walzvorrichtung fest) und darunter hinweglaufendem Aufnahmetisch (Umkehrung von 1).

Jedes der vorstehend aufgeführten Auswalzverfahren kann in Verbindung mit dem Shuman- oder mit dem Appert-Verfahren angewandt werden. Auf diese Art ergeben sich insgesamt acht verschiedene Arbeitsweisen für die Herstellung von Drahtglas.

Nach diesen vorbereitenden Ausführungen soll nunmehr zur näheren Betrachtung der einzelnen Verfahren geschritten werden.

Gruppe I. Auswalzen auf Walztischen.

Beim Auswalzen mittels Walzen auf Walztischen (auch Gießtische genannt) kann man zur Einstellung der jeweils gewünschten Tafeldicken nach zwei verschiedenen Verfahren vorgehen:

a) Man legt auf den Gießtisch an beiden Seiten Flacheisen (Laufleisten) und läßt die Walze auf diesen Stäben abrollen, Abb. 5.

b) Man setzt auf die Walze an beiden Enden Ringe (Laufringe) auf und läßt die Walze sich mit den Ringen auf dem Walztische abrollen, Abb. 6.

hinüber gezogen werden, was gewöhnlich mit der Hand mit Hilfe von Zangen geschieht. Bei ältern Walztischen sind häufig zu beiden Seiten der Walzplatte Zahnstangen angebracht, in die alsdann an den beiden Kopfenden der Walze befestigte Zahnräder eingreifen. Der Antrieb erfolgt dabei durch Ketten oder Seile, die an den beiderseits der Walze sitzenden Zapfenlagern oder an dem Wagen angreifen.

Da der Eingriff der Zahnräder und damit das Abrollen der Walzen in vollkommener Weise nur bei tangentialer Berührung des Teilkreises mit der Teillinie, d. h. also nur bei einer einzigen gewissen Glasdicke einwandfrei vor sich gehen kann, so ergeben sich bei der Einstellung bzw. dem Auswalzen verschiedener Glasdicken Unregelmäßigkeiten ähnlich denjenigen nach b). Man hat daher bei neueren Vorrichtungen die Zahnstangen ganz verlassen und treibt eine der Walzen (gewöhnlich die Vorwalze) entweder durch Drahtseile, die um zu beiden Seiten an der Walze befestigte Seilrollen geschlungen sind, oder aber durch Gallsche Ketten, die über beiderseitig auf den Walzenzapfen angebrachten Kettenrädern laufen, unmittelbar an.

Soll das Glas gemustert werden (geripptes, gerautetes oder Ornament-Drahtglas), so werden die Walzplatten entsprechend graviert. Um Glastafeln mit verschiedenen Mustern mit demselben Walzapparat herstellen zu können, baut man die Walztische so, daß die eigentliche Walzplatte ausgewechselt werden kann, während zwei Kopfplatten, an denen sich gleichzeitig der Antriebmechanismus befindet, fest montiert sind, und zusammen

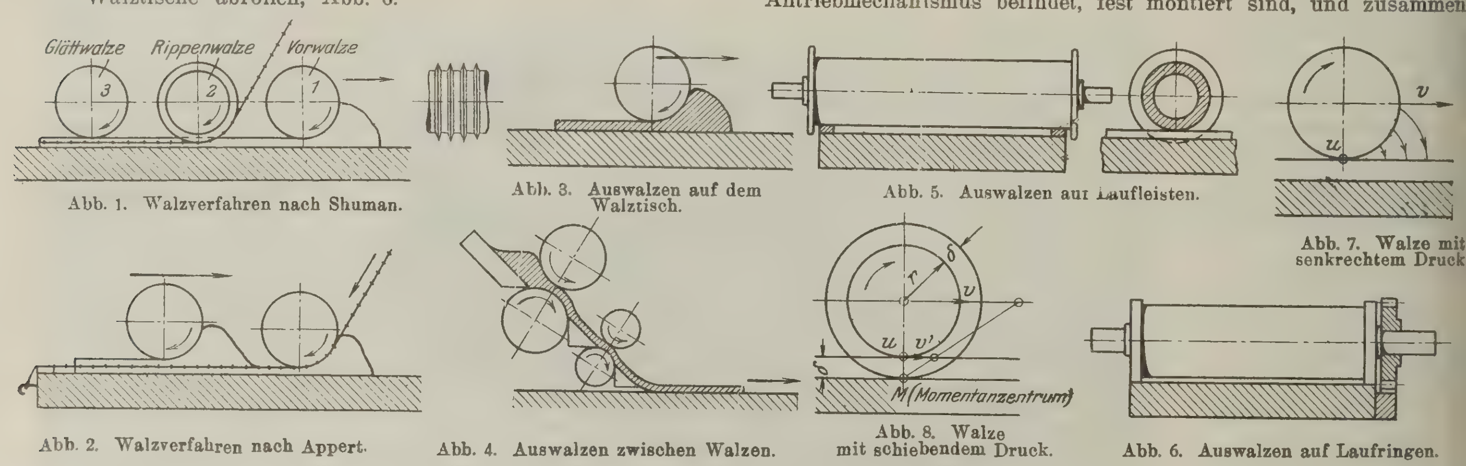


Abb. 1. Walzverfahren nach Shuman.
Abb. 3. Auswalzen auf dem Walztisch.
Abb. 5. Auswalzen auf Laufleisten.
Abb. 7. Walze mit senkrechtem Druck.
Abb. 2. Walzverfahren nach Appert.
Abb. 4. Auswalzen zwischen Walzen.
Abb. 8. Walze mit schiebendem Druck.
Abb. 6. Auswalzen auf Laufringen.

Gegenüber dem Verfahren b) stellt a) ein entschieden besseres Auswalzverfahren dar. Das Auswalzen der Glasmasse geschieht in weit vollkommenerer Weise, da die Oberfläche der frisch gewalzten Glasschicht nur s e n k r e c h t gedrückt wird, Abb. 7, wohingegen im zweiten Falle die Oberfläche der Walze auf der des Glases auch noch eine s c h i e b e n d e Bewegung ausführt, Abb. 8, was beim Auswalzen schwacher Tafeln allerdings nicht weiter in Erscheinung tritt, bei großen Glasdicken dagegen durch Hervorrufung von Querfalten in der Glasoberfläche und Verschieben der Glasschicht oftmals sehr störend wirken kann. Bei kinematischer Betrachtung des zweiten Falles ergibt sich aus Abb. 8 ohne weiteres, daß der unterste Punkt u der Walze gegenüber der Glasoberfläche eine gewisse Relativgeschwindigkeit v' hat. Für diese Relativgeschwindigkeit gilt folgende Beziehung:

$$v' = v \frac{\delta}{\delta + r} = v \frac{1}{1 + \frac{r}{\delta}}$$

Aus dieser Formel geht hervor, daß die s c h ä d l i c h e Relativgeschwindigkeit v' um so größer wird, je kleiner der Quotient $\frac{r}{\delta}$ wird, d. h. je kleiner der Walzendurchmesser und je größer die Glasdicke ist. Es ist also notwendig, wenn man schon bei diesem Verfahren bleiben will, entweder möglichst große Walzen anzuwenden, was aus praktischen Gründen auch nur bis zu einem gewissen Grade geschehen kann, oder aber nur verhältnismäßig dünnes Glas auszuwalzen. Für $\delta = 0$ geht das Verfahren b) in a) über, es wird alsdann $\frac{r}{\delta} = \infty$ und damit $v' = 0$.

Bei Verwendung von Laufringen besteht allerdings der Vorteil, daß die fertig gewalzte Glastafel in der Breitseite vom Walztisch abgeschoben werden kann, was wegen der Laufleisten beim Verfahren nach a) natürlich nicht möglich ist. Hier muß die Tafel zunächst in der Längsrichtung vom Walztisch ab und auf einen vor dem Streckofen befindlichen sogenannten Überlegtisch

mit dem jeweils eingefahrenen Walztisch eine vollständige Walzvorrichtung bilden. Beim Auswechseln der einzelnen Walztische ruhen die Walzen auf einer der beiden Kopfplatten.

Nach vorstehendem eignen sich Walztische mit Laufleisten vornehmlich zum Auswalzen von dickeren Glastafeln. Es ist aber dabei, wie bereits erwähnt, ein sogenannter Überlegtisch, der unmittelbar vor dem Streckofen steht, erforderlich. Von diesem aus wird die vom Walztisch abgezogene Glastafel mittels sogenannter Schaufeln in den Kühlofen hineingestoßen. Da für dieses Überlegen eine gewisse Zeit gebraucht wird, so eignen sich derartige Walzvorrichtungen nicht für die Herstellung dünner Glastafeln, da diese zu schnell erkalten und auch zu wenig widerstandsfähig sind, weshalb sie durch das Hinüberziehen leicht Schaden nehmen können. Auch wird beim Überlegen die gegebenenfalls eingewalzte Musterung sehr leicht verletzt. Aus diesem Grunde stellt man auf diesen (festen) Walztischen gewöhnlich nur ungemustertes Glas oder solches mit einfacher Musterung her, d. h. gerippt oder gerautet. Diese drei Arten sind unter dem Namen Rohglas im Handel. Man nennt daher auch diese Walzvorrichtungen kurz R o h g l a s t i s c h e. Das auf Rohglastischen erzeugte Glas wird als einfaches Rohglas (ohne Drahteinlage) normalerweise in Dicken von 4 bis 6 mm, als Drahtglas in Dicken von 6 bis 8 mm hergestellt.

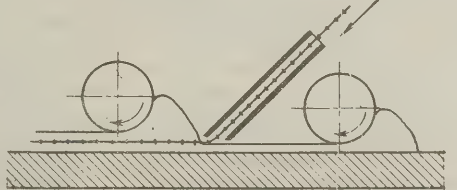
Wesentlich verschieden von den Rohglastischen sind die nach dem zweiten Verfahren arbeitenden b e w e g l i c h e n W a l z t i s c h e, auch Kathedralmaschinen genannt, die vorzugsweise für die Herstellung dünner Glastafeln angewandt werden. Bei diesen Bauarten sind die Walzen in einem festen Gestell gelagert, der Walztisch bewegt sich unter den Walzen hinweg. Im Gegensatz zu den Rohglastischen läuft hier der Walztisch mit der aufliegenden, frisch gewalzten Glastafel unmittelbar vor die Öffnung des Kühlkanals, und es kann somit die Tafel ohne weiteres in den Kühlofen eingeschoben werden. Das für die Gravur und die Tafel gefährliche Überziehen auf einen Überlegtisch wird somit in diesem Falle vollständig vermieden, und die Glastafel befindet sich nur eine denkbar kürzeste Zeit auf dem verhältnis-

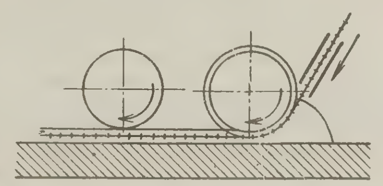
mäßig kalten Eisentisch und in der niedrigen Fabrikraum-Temperatur. Damit jedoch das Abschieben der Glastafel unmittelbar vom Walztisch aus in der Breitseite möglich ist, dürfen bei diesem Auswalzverfahren keine Laufbänder angewandt werden; man führt daher die Walzen mit den bereits weiter oben erwähnten Laufringen aus, was ja wegen der vorzugsweise geübten Herstellung dünner Glastafeln auf solchen Vorrichtungen nicht so schwerwiegend ist. Alles in allem eignet sich diese Arbeitsweise zum Auswalzen schwacher Glastafeln. Um gemustertes Glas herzustellen, graviert man die einzelnen Tischplatten in den verschiedensten Mustern. Die einzelnen Tische werden hier in der Längs- (Lauf-) Richtung ausgefahren, was keine großen Schwierigkeiten macht, wohingegen man die Rohglastische in der Querrichtung ausfährt, was umständlicher ist. Das auf diesen beweglichen Walztischen erzeugte Glas wird normalerweise in Dicken von rd. 2,5 bis 4 mm hergestellt, als Drahtglas (Draht-Ornamentglas) rd. 5 mm dick. Wie bereits vorher erwähnt, werden die beweglichen Walztische auch Kathedralmaschinen genannt, weil auf ihnen das beliebte Kathedralglas hergestellt wird.

Auf beiden Walztischarten läßt sich Drahtglas sowohl nach Shuman als auch nach Appert herstellen.

Bei Anwendung des Shumanverfahrens auf dem festen Walztische wird in normaler Weise wie vorbeschrieben mit Laufleisten gearbeitet, es müssen lediglich auf die Rippenwalze für die verschiedenen Glasdicken entsprechende Laufringe aufgesetzt werden, damit das Drahtgewebe jeweils bis zur Mitte der Glasschicht eingedrückt wird. Diese Art der Drahtglaserzeugung ist wegen ihrer Einfachheit heute sehr verbreitet.

Bei Anwendung des Appertschen Verfahrens werden normalerweise auf beide Walzen Laufringe aufgesetzt. Da sich das Appertsche Verfahren auch zur Herstellung dünner Drahtglastafeln eignet, so verwendet man in diesem Falle vorteilhafter den beweglichen Walztisch. Will man dagegen nach dem Appert-Verfahren dickere Tafeln herstellen, so arbeitet man besser mit dem sogenannten Rohglastisch. In diesem Fall ist es dann jedoch zweckmäßig, die Walze, mit der die untere halbe Glasschicht ausgewalzt wird, sich auf Laufleisten abrollen zu lassen, während die zweite Walze, die die zweite Schicht aufwalzt, mit relativ dünnen Laufringen versehen wird (vergl. die Ausführungen über die schädliche Relativgeschwindigkeit).


Abb. 9. Abgeändertes Appertsches Verfahren.


Abb. 10. Shuman-Verfahren ohne Vorwalze.

Beim Einwalzen des Drahtgewebes ist noch auf eine besondere Erscheinung zu achten. Nachdem der Draht mit dem glühend flüssigen Glas in Berührung gekommen ist, beginnt er unter Luftzutritt sofort zu oxydieren, er wird schwarz. Um diese das Aussehen der fertigen Drahtglastafeln sehr beeinträchtigende Erscheinung nach Möglichkeit zu vermeiden, haben James Alfred Swearer, Beaver und Charles Edward Toynbee, Morgantown, in ihrem DRP Nr. 164 360 vom 9. Mai 1903 eine Abänderung des Appertschen Verfahrens in bezug auf die Drahteinführung angegeben, Abb. 9. Durch diese Art der Drahteinführung wird es ermöglicht, daß unmittelbar nach Berührung des Drahtes mit dem glühenden Glase das Gewebe durch dieses zugedeckt wird, wodurch die Einwirkung der Luftschicht auf das heiße Metall vermieden und damit die Oxydation sozusagen verhindert wird. In Fällen, wo das Drahtglas noch beiderseitig geschliffen werden soll, wodurch alsdann die Drahteinlage gut sichtbar wird, legt man auf die Verwendung eines sauberen, gut gereinigten und gegebenenfalls noch chemisch behandelten Drahtgewebes besonderen Wert.

Zur Herstellung solchen hochwertigen Spezial-Drahtglases — Spiegeldrahtglas — wird auch heute noch das Appertsche Verfahren angewandt. Besonders in Amerika stellt man ein prachtvolles Spiegeldrahtglas mit silberweißer Drahteinlage her (vielfach sechseckiges Maschengewebe), das sogar für Schaufenster verwandt wird. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß auch in Deutschland ein hochwertiges Spiegeldrahtglas von der Schlesischen Spiegelglas-Manufaktur Carl Tielsch, G. m. b. H., Altwasser, auf den Markt gebracht wird. Wie bereits eingangs erwähnt, wird jedoch das Appertsche Verfahren für die Herstellung des normalen Drahtglases im allgemeinen heute seltener angewandt. Es ist im Laufe der Zeit durch das weit einfachere Shumansche Verfahren mehr und mehr verdrängt worden.

Nach Shuman läßt sich Drahtglas auch auf dem beweglichen Walztisch herstellen. Solche Walzvorrichtungen sind ausgeführt worden, und man hat eine gute Qualitätsware damit erzielt. Man verwandte dabei Ornamentglas-Gießtische (Kathedralmaschinen) und stellte u. a. ein schönes Draht-Ornamentglas von rd. 5 mm Dicke her. Bei dieser Ausführung liefen sämtliche Walzen auf Laufringen. Derartige Ausführungen werden jedoch seltener angewandt, schon allein, weil das eigentliche dünne Ornamentglas mit Drahteinlage im Handel weniger verlangt wird und außerdem Drahtglas mit den bekannten Rohglasmustern (gerippt oder gerautet) besser auf festen Gießtischen hergestellt wird.

Es sei noch eine Konstruktion erwähnt, die Shuman besonders zum Auswalzen dünner Drahtglastafeln in seinem DRP Nr. 105 516 vom 14. Juni 1898 angegeben hat. Er läßt hier die Vorwalze, die die Glasschicht zuerst formt, ganz fort und bildet die Rippenwalze so aus, daß diese das Auswalzen zugleich mit dem Eindrücken des Drahtgewebes vornimmt, Abb. 10. Auf diese Weise kommt die Glasschicht mit weniger gekühlten Eisenflächen in Berührung. Auch ist der Weg bis zur Glättwalze nicht so lang wie bei dem ursprünglichen Verfahren. Die Zeit vom Augenblick des ersten Walzens durch die Vorwalze bis zum Zudrücken durch die Glättwalze wird kürzer, die Glasschicht ist somit beim Zuwalzen weicher, so daß sich hierdurch auch dünnere Schichten noch leicht zuwalzen lassen. Dieses Verfahren wird für die verschiedenen Auswalzarten sinngemäß wie in den vorbeschriebenen Fällen angewandt.

Was das Drahtgewebe anbelangt, so wird dieses zweckmäßigerweise in allen Fällen für jede Tafel vorher auf die notwendige Länge zugeschnitten. Beim Arbeiten nach Shuman wird es alsdann lose als kleine Rolle auf eine Stange, die sich über der Walzvorrichtung befindet, aufgesteckt oder auf eine sogenannte Rutsche ausgebreitet aufgelegt. Alsdann wird das Gewebe durch eine Führung so weit vor die Rippenwalze vorgezogen, daß das beim Beginne des Walzens unter der Vorwalze hindurchtretende Glas dieses erfaßt und festhält, worauf das weitere Einwalzen ohne Schwierigkeit vor sich geht. Beim Appertschen Verfahren ist es dagegen notwendig, das Gewebe an dem einen Kopfende des Walztisches zu befestigen, s. Abb. 2, wodurch in Verbindung mit vielfach angewandten besonderen Spannwalzen ein Verziehen des Gewebes unmöglich gemacht wird. Diese Notwendigkeit ist jedoch als eine weitere Verwicklung und in gewissem Sinne auch als ein Nachteil der Appertschen Arbeitsweise anzusehen.

Es gibt auch Walztischkonstruktionen, bei denen das Drahtgewebe beim Walzen unmittelbar von der Originalrolle abgewickelt und nach beendetem Auswalzen durch ein besonderes Messer abgeschnitten wird. Derartige Ausführungen haben sich jedoch im allgemeinen nicht bewährt. Die Messer werden durch die unvermeidliche Erhitzung leicht stumpf. Das Gewebe wird dann unvollständig zerschnitten. Die Glastafel bleibt hängen, und es ergeben sich auf diese Weise höchst unangenehme Störungen. Die Tafel kann in solchen Fällen nicht schnell genug in den Kühlofen eingebracht werden, sie zerspringt, und der Schaden ist, wenn dieser Fall öfter eintritt, größer als der Vorteil, der durch diese Vorrichtung erreicht werden soll.

Als Drahteinlage verwendet man am häufigsten enges, sechs- oder viereckiges Maschendrahtgewebe, jedoch nimmt man mitunter in besonderen Fällen auch weitmaschiges Drahtgeflecht. Sehr beachtenswert wegen leichter Zerteilung der Drahtglastafeln bei gleichzeitiger größerer Lichtdurchlässigkeit und gefälligem Aussehen ist noch das sogenannte Chauvel-Drahtglas, bei dem in gewissen Abständen parallel verlaufende Drähte in der Glasschicht eingebettet sind. Von der Herstellung dieses Erzeugnisses wird weiter unten noch die Rede sein.

Um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen, werden natürlich soviel Güsse wie nur irgend möglich ausgeführt, etwa 15 bis 20 Tafeln in 1 h. Es ist daher notwendig, daß die Gießplatten und die Walzen gekühlt werden. Die Kühlung, die fast ausnahmslos mit Wasser vorgenommen wird, kann auf verschiedene Arten je nach der besonderen Konstruktion der Walztische durchgeführt werden.

Neuzeitliche Gießtische werden mit selbsttätiger Endabschaltung ausgeführt, so daß der Arbeiter den Arbeitsgang bzw. Rücklauf nur einzuschalten hat, worauf nach beendetem Walzabschnitt die Maschine von selbst zur Ruhe kommt. Zum Antrieb dienen Elektromotoren mit Vorgelegen. Beim Arbeiten mit den (sehr schweren) beweglichen Walztischen ist die verhältnismäßig große kinetische Energie, die den großen bewegten Massen innewohnt, vor dem Abschalten durch besondere elektrische Bremsvorrich-

tungen zu vernichten. Derartige Anlagen, die von der Maschinenfabrik G. Prüssen in Köln ausgeführt wurden, haben sich in der Praxis bestens bewährt.

Es ließe sich noch manches Wichtige über das Hohldrehen und Kühlen der Walzen, Vermeidung des Wasserstein-Absetzens in diesen, Anwendung von Stahl- oder Gußeisentischen, ferner über Walzgeschwindigkeiten und Kraftbedarf anführen, jedoch würde das nähere Eingehen hierauf den Rahmen dieser Abhandlung weit überschreiten. Allgemein sei noch mitgeteilt, daß auf den beschriebenen Walztischen Drahtglastafeln in Größen von rd. 1100 bis 1300 mm Breite bei rd. 4000 bis 4500 mm Länge hergestellt werden. Allen Glastafeln, die auf Walztischen ausgewalzt werden, ist die wunderbar glatte Oberfläche (Schneidefläche) eigen, sie ist jedoch nie völlig eben, sondern immer leicht gewellt. Die untere Fläche (Tischseite) des ungemusterten Roh- oder Drahtglases ist infolge der Berührung mit dem verhältnismäßig kalten Eisentisch stets stärker gewellt und matt, sie zeigt das bekannte Kathedralmuster.

Zum Schlusse dieses Abschnittes sei noch erwähnt, daß gemustertes Roh- oder Drahtglas auch auf glatten ungravierten Walztischen dadurch hergestellt werden kann, daß man die Prägung der Glastafel durch eine gravierte Walze von oben her durchführt. Derartige Ausführungen müssen jedoch als veraltet bezeichnet werden. Die Musterseite wird, da sie oben liegt, sehr schön, indes wird die Schneidefläche, die ja diesmal auf der Tischseite liegt, matt und stark wellig, sie erhält das bekannte Kathedralmuster, was namentlich für das Schneiden höchst ungeeignet ist.

Durch das bei Walztischen immer notwendige Säbeln der Glastafel wird das Muster in diesem Falle nicht verletzt. Dieser Vorteil wiegt jedoch den Nachteil der rauhen Schneidefläche bei weitem nicht auf. Man hat diese Ausführungsart angewandt, um die teure Gravur der großen Walztischplatten zu vermeiden, außerdem ergibt sich gleichzeitig der Vorteil, daß für die verschiedenen Muster nur je eine gravierte Walze notwendig ist, während stets ein und dieselbe (glatte) Tischplatte verwendet werden kann. Man erspart somit auf diese Art die Anschaffung mehrerer sehr teurer Platten. Auch sind an Stelle der schweren Walztische nur verhältnismäßig leichte Walzen auszuwechseln. Trotz aller dieser Vorteile sind derartige Walzvorrichtungen heute nur noch selten anzutreffen, da, wie schon erwähnt, mit ihnen Qualitätsware nicht erzeugt werden kann. Die letztgenannten Vorteile werden voll erreicht und noch übertroffen — ohne daß die Nachteile dabei in Kauf genommen werden müssen — bei Anwendung einer ganz neuen Auswalzart, derjenigen des Auswalzens nur zwischen Walzen. Von dieser zweiten großen Gruppe soll in nachstehendem Kapitel die Rede sein.

Gruppe II. Das Auswalzen nur zwischen Walzen.

Im Jahre 1890 wurde der Firma Chance Brothers, West Smethwick, ein Patent auf eine sogenannte Glaswalzmaschine erteilt. Während die Flachglasherstellung nach den älteren Verfahren stets im Auswalzen der Glasmasse auf Walztischen bestand, erfolgte hier zum ersten Male das Auswalzen nur zwischen Walzen, Abb. 4. Theoretisch betrachtet stellt der Walztisch eine besondere Ausführung einer Walzmaschine dar, und zwar für den Fall, daß der Halbmesser der unteren Walze unendlich groß wird, wobei alsdann diese Walze in die Walzplatte übergeht. Bei den einfachen Walzmaschinen ist normalerweise ein erstes, größeres Walzenpaar (Vorwalzen) und ein zweites, kleineres Walzenpaar (Nachwalzen) angeordnet. Für die Herstellung von gemustertem Glase wird die obere kleine Walze des zweiten Walzenpaares graviert ausgeführt. Die geschöpfte Glasmasse wird auf eine Aufgußplatte unmittelbar vor das erste Walzenpaar geschüttet. Die durch die Primärwalzen vorgewalzte Glasschicht gleitet über ein sogenanntes Gleitstück zwischen die Sekundärwalzen, und nach ihrem Passieren über ein weiteres Gleitstück auf den Aufnahmetisch. Dieser Tisch ist mit sauber polierten und dicht aneinander verlegten feuerfesten Steinplatten bedeckt. Sämtliche Teile (mit Ausnahme des Tisches), die mit dem heißen Glas in Berührung kommen, sind mit Wasser gekühlt.

Die Tafeldicken werden hier einfach durch Veränderung der Mittenentfernungen der Walzen je eines Walzenpaares eingestellt. Im Gegensatz zu den Walztischen, wo nur während des eigentlichen Walzvorganges der Tisch und die Walzen laufen, drehen sich bei der Walzmaschine die Walzen dauernd, wohingegen der Tisch nur beim Auswalzen läuft. Bei neuzeitlichen Walzmaschinen ist die Bedienung ähnlich wie bei Walztischen und äußerst einfach. Der Aufnahmetisch wird beim Beginn des Walzens mittels einer Kupplung eingerückt und schaltet sich am Ende des Arbeitsganges selbsttätig ab. Nach dem Walzen wird die Glastafel in den Kühlofen eingeschoben, und der Aufnahmetisch wird auf Rücklauf geschaltet, um sich am Ende wiederum selbsttätig auszurücken. Das vorstehend Gesagte gilt für die neuzeitlichen Walzmaschinen mit einem beweglichen Aufnahmetisch. Für die älteren Walzmaschinenarten mit festem Aufnahmetisch, die besonders in England angewandt wurden, gilt das gleiche Vorgesagte, nur mit dem Unterschiede, daß an Stelle der Tischbewegung die fortschreitende Bewegung der Walzvorrichtung tritt.

Bei der Anordnung mehrerer Walzenpaare hintereinander müssen die Umfangsgeschwindigkeiten der Walzen je eines Paares zu denen der vorhergehenden in einem gewissen Verhältnisse stehen. Ähnlich wie bei kontinuierlichen Walzenstraßen in der Eisenindustrie müssen auch hier gewisse — veränderlich einstellbare — Voreilungen eingehalten werden. Bezeichnet man mit Bezug auf Abb. 4 die Umfangsgeschwindigkeit der Primärwalzen mit v_1, die der Sekundärwalzen mit v_2 und die Tischgeschwindigkeit mit v_3, so gilt die allgemeine Beziehung: $v_1 < v_2 < v_3$, bei noch mehr Walzenpaaren in entsprechender Weise. Das Auswalzen auf Walzmaschinen bietet gegenüber demjenigen auf Walztischen wesentliche Vorteile. Zunächst liegt die gemusterte Seite der Glastafel oben, sie wird daher vollkommen geschont, die Prägung wird einwandfrei sauber. Zwar wird die Schneidefläche, die bei Walzmaschinen unten (auf dem Steintisch) liegt, nicht ganz so glänzend wie bei Tischglas, sie ist jedoch nicht gewellt wie dieses, sondern durchaus eben. Ein Überziehen der Glastafel ist beim Arbeiten mit der Walzmaschine in keinem Falle erforderlich, weder bei festem noch bei beweglichem Aufnahmetisch. Sie eignet sich daher für dickes und auch für dünnes Tafelglas. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, daß für die verschiedenen Prägungen nur je eine kleine, leichte und billige gravierte Walze notwendig ist, während bei Walztischen jeweils eine besondere, äußerst schwere und teure Gießplatte angeschafft werden muß. Außer der sich hieraus ergebenden beträchtlichen Verringerung der Anlagekosten ergibt sich auch noch eine wesentliche Platzersparnis, da das Abstellen der kleinen Walzen natürlich nur sehr wenig Platz erfordert und in jeder verlorenen Ecke geschehen kann, während die Gießplatten große Teile des wertvollen Hüttenraumes in Anspruch nehmen. Als weiterer Vorteil der Walzmaschine kommt noch hinzu, daß das Austauschen der Prägewalzen verhältnismäßig schnell geschehen kann, während das Auswechseln der schweren Walztische umständlich und zeitraubend ist.

Bei Verwendung von Walzmaschinen ist der sich durch den Glasrückstand auf der Aufgußplatte ergebende etwas größere Glasabfall als ein gewisser Nachteil den Walztischen gegenüber anzusprechen, jedoch hebt diese Erscheinung die großen Vorteile der Walzmaschine bei weitem nicht auf. Zum Antrieb der Walzmaschinen dienen in der Neuzeit Elektromotoren, die je nach den in Frage kommenden Verhältnissen auf oder neben der Maschine aufgestellt werden. Besondere Regelanlasser ermöglichen die Einstellung der für das Walzen verschieden dicker Tafeln notwendigen Geschwindigkeiten in weiten Grenzen.

Zur Drahtglasherstellung auf Walzmaschinen läßt sich sowohl das Appertsche als auch das Shumansche Verfahren anwenden, jedoch ist Shuman auch hier vorherrschend. So hat W. W. Pilkington, Lancaster, in seinem englischen Patent 3750 vom Jahre 1903 sehr bemerkenswerte Ausführungen von Drahtglaswalzmaschinen angegeben (Abb. 11 bis 13). Während Abb. 11 und 12 Anwendungen des ersten Shumanpatentes auf Walzmaschinen mit festem Aufnahmetisch zeigen, stellt Abb. 13 die Anwendung des zweiten Shumanpatentes dar. Eine Konstruktion,

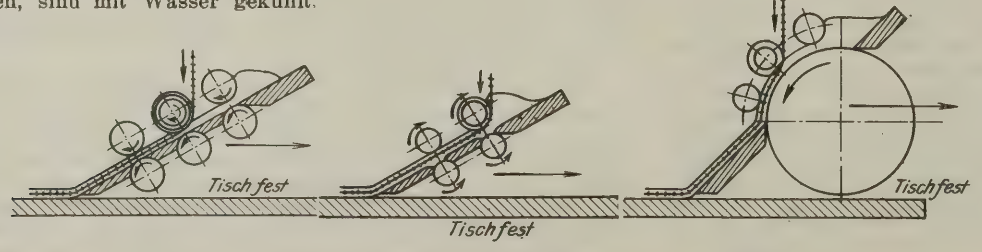


Abb. 11 bis 13. Drahtglaswalzmaschinen nach Shuman von W. W. Pilkington.

Tisch beweglich

Abb. 14. Drahtglaswalzmaschine nach Shuman ohne Vorwalze und ohne Aufgußplatte von A. S. Baldivin.

der ebenfalls der Gedanke des letzteren Patentes zugrunde liegt, ist die im britischen Patent Nr. 18415 aus dem Jahre 1905 angeführte (A. S. Baldivin, East Orange State of New Jersey). Hier wird sogar der Rückstand bzw. Glasrest, der sich sonst immer auf der Aufgußplatte bildet, vollständig vermieden. Eine Aufgußplatte ist nicht vorhanden, vielmehr wird das Glas unmittelbar zwischen zwei Walzen gegossen, Abb. 14. Bei dieser Ausführung ist schon die bedeutend vorteilhaftere und neuere Konstruktion der Walzmaschine mit fester Walzvorrichtung und beweglichem Aufnahmetisch zugrunde gelegt.

Eine andere Ausführung desselben Gedankens ist im britischen Patent Nr. 12 495 von G. F. Chance and Chance Brothers and Co. Ltd., West Smethwick, aus dem Jahre 1905 angegeben, Abb. 15 und 16. — Eine weitere Abänderung bildet das DRGM. Nr. 567 511 der Opalescent, Kathedral & Ornamentglaswerke, Weißwasser Ob.-Lausitz G. m. b. H., vom Jahre 1913, Abb. 17. Bei allen vorerwähnten Konstruktionen ergibt sich für den Fall,

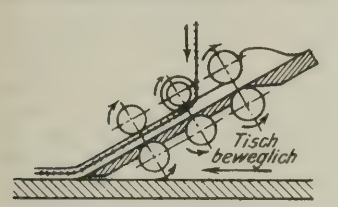


Abb. 15. Drahtglaswalzmaschine nach Shuman von Chance Brothers.

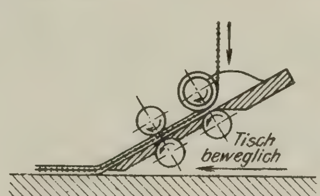


Abb. 16. Drahtglaswalzmaschine nach Shuman ohne Vorwalze von Chance Brothers.

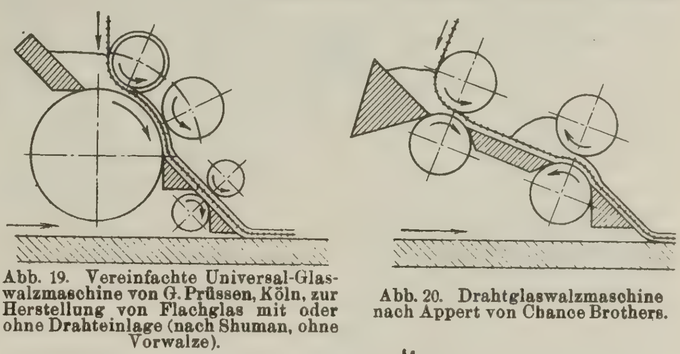


Abb. 19. Vereinfachte Universal-Glaswalzmaschine von G. Prüssen, Köln, zur Herstellung von Flachglas mit oder ohne Drahteinlage (nach Shuman, ohne Vorwalze).

Abb. 20. Drahtglaswalzmaschine nach Appert von Chance Brothers.

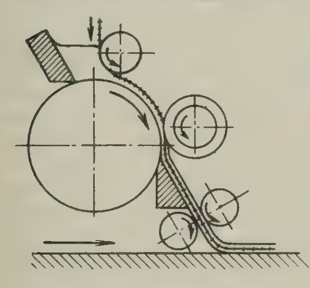


Abb. 17. Drahtglaswalzmaschine nach Shuman der Opalescent, Kathedral & Ornamentglaswerke, Weißwasser.

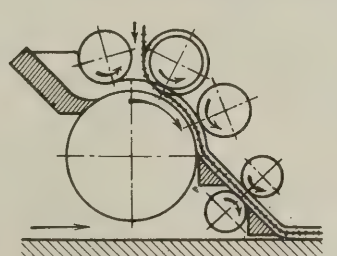


Abb. 18. Universal-Glaswalzmaschine von G. Prüssen, Köln, zur Herstellung von Flachglas mit od. ohne Drahteinlage (nach Shuman).

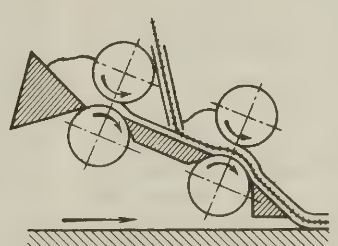


Abb. 21. Drahtglaswalzmaschine nach Appert (abgeändert nach Swearer und Toynbee) von Chance Brothers.

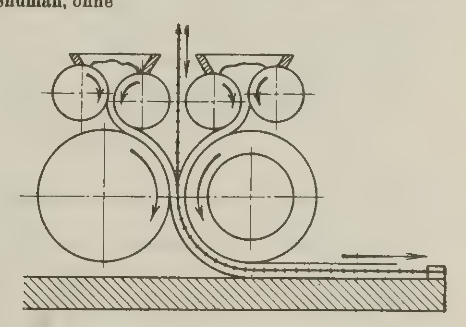


Abb. 22. Drahtglaswalzmaschine nach Appert, abgeändert von Wadsworth.

daß gemustertes Drahtglas hergestellt werden soll, die Notwendigkeit, die Zudrückwalze mit der entsprechenden Gravur zu versehen, bzw. eine gravierte Walze als Zudrückwalze zu verwenden. Das ist jedoch nicht zu empfehlen. Leicht können auf diese Art offene oder zum wenigsten schlecht gedeckte Stellen in der Drahtglastafel entstehen. Diesem Mangel hilft eine von der Maschinenfabrik G. Prüssen, Köln, ausgeführte Konstruktion ab, Fig. 18. Hier wird die Tafel zunächst genau wie beim Walztisch mit der Drahteinlage versehen und glatt zugewalzt, erst danach wird die Musterung von oben in die Drahtglastafel eingeprägt. In vereinfachter Form läßt sich dieser Grundsatz auch in Verbindung mit dem zweiten Shumanpatent anwenden, Abb. 19. Durch einfaches Zurückziehen der Rippen- und Zudrückwalze ist die Maschine nach Abb. 18 ebenfalls als Roh- bzw. Ornamentglas-Walzmaschine ohne weiteres verwendbar (Universal-Maschine), im zweiten Falle, Abb. 19, muß die Rippenwalze gegen eine glatte Walze ausgetauscht werden. Auf derartigen Maschinen sind Glastafeln mit oder ohne Drahteinlage in Größen von rd. 1150 bis 1270 mm Breite und 4500 bis 5500 mm Länge in Dicken von 3 bis 10 mm herstellbar.

Eine recht beachtenswerte Anwendung des Appertschen Verfahrens bei Walzmaschinen bildet eine Ausführung, die E. F. Chance, Alfred Lindsay Forster und Chance Brothers & Co. Ltd., West-Smethwick, in ihrem britischen Patent Nr. 12 628 vom Jahre 1905 angegeben haben. Hier wird eine den veränderte Bedingungen entsprechend abgeänderte Konstruktion einer einfachen Walzmaschine mit zwei Walzenpaaren verwendet und vor jedes Walzenpaar Glasmasse gegossen. In diesem Falle dient das mittlere Gleitstück gleichzeitig als zweite Aufgußplatte, der Draht wird entweder nach dem Appertschen Patent, Abb. 20, oder nach dem Patent von Swearer und Toynbee DRP. Nr. 164 360, Abb. 21, eingeführt, vergl. auch Abb. 2 und 9.

Als eine höchst sinnreiche und eigenartige Abänderung des Appertschen Verfahrens in Verbindung mit dem Walzmaschinentyp ist die in dem amerikanischen Patent Nr. 844 552 vom 19. Februar 1907 von Frank L. O. Wadsworth, Morgantown, West Virginia, angegebene Ausführungsart anzusprechen. Genau wie bei Appert werden hier zwei Glasschichten in halber Dicke der fertigen Tafel erzeugt, jedoch mit dem Unterschiede, daß diese beiden Schichten durch zwei Walzenpaare getrennt voneinander ausgewalzt und unmittelbar darauf unter gleichzeitiger Zwischenbettung der Drahteinlage durch ein drittes Walzenpaar gegeneinandergepreßt und zu einer einzigen Schicht vereinigt werden, Abb. 22. Dadurch, daß Wadsworth eine der beiden Walzen des dritten Walzenpaares als Walze mit unendlichem Halbmesser, d. h. als Walzplatte ausbildet, ergibt sich eine höchst eigenartige Walzvorrichtung, die man als Vereinigung eines Walztisches mit einer Walzmaschine auffassen kann, Abb. 23. Eine ähnliche Konstruktion ist in schlesischen Glashütten ausgeführt worden, jedoch hat man hier die den Walzmaschinen eigentümlichen Teile, Aufgußplatten und Gleitstücke beibehalten, Abb. 24. Diese Maschine hat gegenüber der vorerwähnten amerikanischen Konstruktion den Vorteil größerer Einfachheit und Betriebsicherheit, da hierbei das Übergleiten zwanglos und ohne besondere Hilfsmittel vor sich geht, während bei der amerikanischen Ausführung zum Festhalten der Glasschicht mit einer Luftleere im Innern einer der Walzen des dritten Paares gearbeitet wird. Man erhält mit den letzteren Konstruktionen ein sehr schönes Drahtglas, jedoch ist allen diesen Ausführungen mit Appertscher Arbeitsweise der große Nachteil des notwendigen **zweimaligen Gießens** gemein

Ausnahme-Konstruktionen.

Zum Schlusse soll noch ein anderes Drahtglas-Herstellverfahren der Vollständigkeit halber angeführt werden. Es handelt sich hierbei um das sogenannte **Überwalzverfahren**, Abb. 25. Das Kennzeichnende dieses Verfahrens besteht darin, daß die Glasmasse durch das Drahtgewebe hindurchgewalzt wird, wobei dieses in irgendeiner Weise in dem notwendigen Abstande

Abb. 23. Vereinigung einer Drahtglaswalzmaschine mit einem Walztisch nach Appert von Wadsworth.

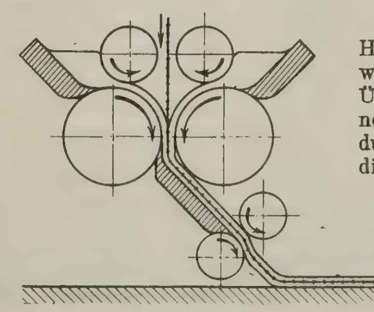


Abb. 24. Drahtglaswalzmaschine nach Appert, in schlesischen Hütten angewandt.

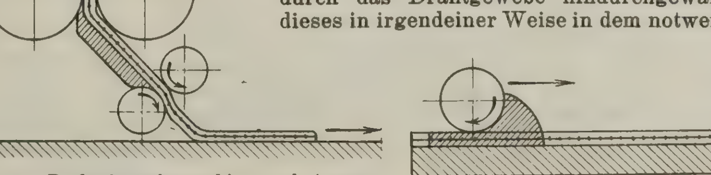


Abb. 25. Überwalzverfahren.

von der Walztischoberfläche bzw. von der unteren Vorwalze (bei Walzmaschinen) gehalten wird. Man will auf diese Weise die Vorteile des Shumanschen und des Appertschen Verfahrens (einmaliges Gießen, kein Zerreißen der einmal gebildeten Glasoberfläche) gleichzeitig erhalten, während die Nachteile beider Verfahren vermieden werden sollen. Wenn auch mancherlei Anstrengungen gemacht worden sind, das Überwalzverfahren so auszubilden, daß die Herstellung von Drahtglastafeln in wirtschaftlicher Weise danach möglich ist, so ist dieses Ziel bis heute nur in sehr beschränktem Maß erreicht worden.

Die Hauptschwierigkeit besteht darin, die Drahteinlage beim Überwalzen in der Mitte der Glasschicht zu halten. Durch verschiedene Mittel hat man dies zu erreichen versucht. So z. B. Paul Sievert, Deuben bei Dresden, in seinem DRP. Nr. 60560 vom 9. Mai 1891, indem er beim Gießen auf eine gravierte Walzplatte mit lose aufliegendem Drahtgeflecht ein (mehr zufälliges) Heben

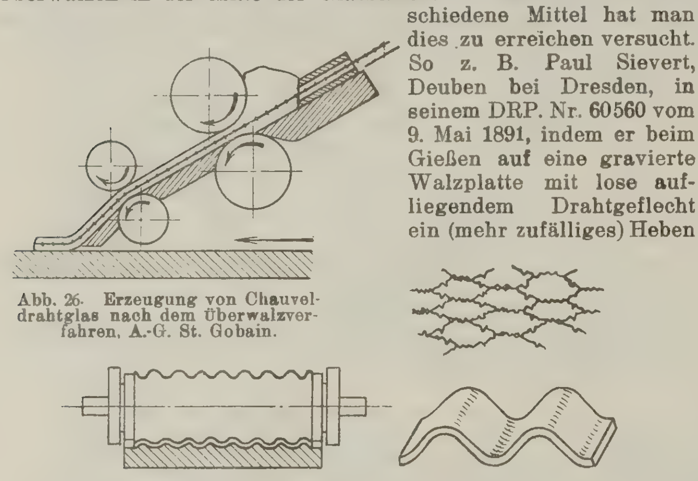


Abb. 26. Erzeugung von Chauveldrahtglas nach dem Überwalzverfahren, A.-G. St. Gobain.

Abb. 27 und 28. Herstellung von Welldrahtglas, Pennsylvania Wire Glass Company.

des Geflechtes in der Glasmasse nutzbar machen will. Ferner Max Baumgärtel, Dresden, der in seinem DRP. Nr. 110 235 vom 5. April 1899 das Drahtgeflecht zunächst in der richtigen Entfernung über dem Walztische ausspannt und alsdann zwecks Vermeidung des Herunterdrückens beim Auswalzen an gewissen Stellen in der Tischplatte beim Fortschreiten der Walze sich selbsttätig zurückziehende Unterstützungsstifte anbringt oder aber an verschiedenen Stellen unter das Drahtgewebe entweder Glasstücke legt, die mit der ausgewalzten Glasmasse verschmelzen, oder Körper, die beim Berühren mit der glühenden Glasmasse verbrennen, ohne merkbare Spuren zu hinterlassen. Alle diese Vorschläge sind wohl recht sinnreich erdacht, sie stellen jedoch keine ideale Lösung der Aufgabe dar.

Ein nach dem Überwalzverfahren hergestelltes marktfähiges Erzeugnis ist das sogenannte Chauveldrahtglas, das von der Aktiengesellschaft der Spiegelmanufakturen und Chemischen Fabriken von St. Gobain, Chauny & Cirey, hergestellt wird. Das Herstellverfahren für dieses Sonderdrahtglas, das roh und geschliffen in den Handel kommt, ist durch zwei Patente geschützt, und zwar für die Herstellung auf Walztischen (nach Shuman) durch das DRP. Nr. 176 513 vom 1. Dezember 1905 auf den Namen des Erfinders Paul Chauvel, Stolberg; für die Herstellung auf Walzmaschinen (nach dem Überwalzverfahren) durch das der Aktiengesellschaft von St. Gobain am 16. März 1912 erteilte DRP. Nr. 275 019, Abb. 26.

Noch ein eigenartiges Erzeugnis, das nach dem Überwalzverfahren hergestellt wird, sei erwähnt. Der Pennsylvania Wire Glass Company, Camden, New Jersey, ist am 22. Oktober 1915 ein Verfahren zur Herstellung von Welldrahtglasplatten mit dem DRP. Nr. 324 336 geschützt worden, Abb. 27. Hier wird der richtige Abstand der Drahteinlage durch in das Drahtgeflecht eingedrückte Zacken, mit denen das Gewebe auf dem gewellten Walztisch aufliegt, eingehalten, Abb. 28. (Analogie mit dem vorerwähnten Sievert-Patent Nr. 60 560.) Diese Welldrahtglasplatten eignen sich vornehmlich zu Überdachungszwecken an Stelle des sonst oftmals üblichen Wellbleches.

Schluß.

Es konnten im Rahmen dieser Abhandlung die vielen Verfahren der Drahtglasherstellung nicht im einzelnen erschöpfend, sondern nur allgemein in großen Zügen behandelt werden. Gelegentlich mußte auf die mit der Drahtglasherstellung nahe verwandten Herstellverfahren von Roh- und Ornamentglas näher eingegangen werden, da sonst manche Ausführungen über die Drahtglaserzeugung nur schwer verständlich und vom Ganzen losgelöst erschienen wären. Anderseits mußte manches für das Ganze Unwesentliche, im einzelnen jedoch sehr Bemerkenswerte weggelassen werden, damit nicht der Rahmen dieser Ausführungen zu sehr überschritten würde. Auch ist es nicht möglich, zu zeigen, welche Unsumme von Schwierigkeiten oftmals zu überwinden sind, um Verbesserungen oder neue Verfahren herauszubringen. Wer die eigenartige Materie der Glaserzeugung näher kennt, wird ermessen können, welche gewaltige Gedankenarbeit der besten Glasfachleute aller Völker nötig war, wieviel Versuche wohl angestellt worden sein mögen, um von der ersten ursprünglichen Stufe zur heutigen Höhe zu gelangen. Vollkommen sind die heutigen Verfahren jedoch noch nicht, und es bleibt der technischen Wissenschaft immer noch ein reiches Feld der Betätigung. Findet man doch heute noch in Glashütten oftmals Einrichtungen und Arbeitsweisen, die alles andere als neuzeitlich sind. So unglaublich es klingen mag, es gibt Hütten in Deutschland, in denen die Walzvorrichtungen heute noch durch Menschenkraft betrieben werden!

Falls die voraufgegangenen Ausführungen mit dazu beitragen sollten, daß man endlich dazu übergeht, veraltete Betriebseinrichtungen zu entfernen bzw. durch neuzeitliche zu ersetzen, so wäre damit manchem glastechnischen Unternehmen im besonderen und der Glasindustrie im allgemeinen ein Dienst erwiesen und der Zweck dieser Abhandlung reichlich erfüllt.

Hoffen wir, daß besonders die deutsche Glasindustrie aus ihrer beinahe ängstlichen Verschlossenheit endlich einmal heraustritt und — wie in andern Ländern schon seit langem — der rüstig fortschreitenden Wissenschaft Tür und Tor weit öffnet! Nur auf diese Art ist es möglich, daß die deutsche Glasindustrie mit der hochentwickelten ausländischen wieder in erfolgreichen Wettbewerb treten kann! [A 243]

Die Fleckenempfindlichkeit optischer Gläser.

Häufig entstehen bei Linsen und Prismen durch Anfassen der Glasgegenstände mit unsauberen und schweißigen Händen, durch chemisch wirkende Dämpfe oder durch Einwirkung von Pech, Gips usw. graue oder bunte Flecke. Drei verschiedene Verfahren zum Messen der Fleckenempfindlichkeit behandelt Walter Tepohl in einem Bericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt[1]).

Als erster hat Zschimmer die Fleckenempfindlichkeit optischer Gläser untersucht. Er geht von der Voraussetzung aus, daß die Flecke durch schwach saure Stoffe entstehen, hält also Fleckenempfindlichkeit für gleichbedeutend mit Säureempfindlichkeit. Er läßt daher 24 h lang auf die zu prüfenden polierten Glasflächen Tropfen einer Essigsäurelösung mit 0,5 vH Essigsäure- und 0,05 vH Glyceringehalt einwirken. Nachdem die Fläche mit Wasser abgewaschen und mit einem Lappen abgetrocknet ist, kann man an der Art des bleibenden Fleckes die Empfindlichkeit des Glases abschätzen. Ein wesentlicher Mangel dieser verhältnismäßig ungenauen Probe liegt darin, daß die Fleckenempfindlichkeit nicht zahlenmäßig ausgedrückt werden kann.

Die an die Zschimmersche Untersuchung sich anlehnende sogenannte Salzsäure-Korrosionsprobe ermöglicht eine Einteilung der Gläser in Gruppen dadurch, daß man mit verschieden stark konzentrierter Salzsäure die gleichen nicht abwaschbaren Flecke erzeugt. Man setzt die Glasplatten nacheinander den Einwirkungen von Salzsäure mit 0,1 vH Gehalt 1 min lang, sodann von Salzsäure mit 1 vH Gehalt 10 min lang, schließlich mit 10 vH Gehalt 1 h lang aus.

[1]) Glastechnische Berichte Bd. 1 (1923) Heft 5.

Man kann nach diesem Verfahren die Gläser in vier Gruppen einteilen. Auch diese Einteilung ist noch ziemlich roh. Außerdem werden häufig Gläser durch Säuren stark angegriffen, ohne daß eine Färbung zu erkennen ist.

Dagegen gibt die sogenannte Säure-Neutralisationsprobe ein gutes Bild von der Säureempfindlichkeit. Sie geht von der Erwägung aus, daß der wirksame Teil der Säure bei der Fleckenbildung neutralisiert wird. Da der neutralisierende Einfluß der Glasfläche nur recht schwach ist, pulverisiert man das Glas, um eine möglichst große Oberfläche zu erhalten.

Man zerkleinert 2 bis 3 g im Diamantmörser und zerdrückt die Stücke in einer Achatschale. Durch zwei übereinander stehende Siebe von 0,3 und 0,15 mm Maschenweite wird das feine Pulver und der Staub möglichst gut abgeschieden, so daß nur der zwischen den Sieben verbleibende Gries verwandt wird. Man mißt davon in einem kleinen Glasrohr von 5 bis 6 mm lichter Weite je 1 cm³ ab, schüttet diese Menge in ein Becherglas von 50 cm³ Inhalt und läßt 10 cm³ $\frac{n}{10}$-Salzsäure nach kurzem Umschütteln 2 h lang ruhig einwirken. Danach setzt man 1 bis 2 Tropfen Methylorange zu und läßt unter Umschütteln soviel $\frac{n}{10}$-Natronlauge hinzufließen, daß die Lösung schwach alkalisch wird, was durch gelbe Färbung erkennbar ist. Darauf titriert man den Überschuß an Alkali zurück und berechnet, wieviel cm³ der Salzsäure durch den Glasgrieß neutralisiert wurden. Da die Menge der neutralisierten Säure bei den verschiedenen Glassorten sehr stark schwankt, gibt dieses Verfahren ein ziemlich gutes Bild von der Säureempfindlichkeit der Gläser.

[M 395] Sd.

Materialbewegung in Glashütten.

Von Dipl.-Ing. C. Michenfelder, Leipzig.

Grundsätze für die Materialbewegung in Glashütten. — Art und Menge der zu fördernden Stoffe. — Lösungen transporttechnischer Aufgaben für Kohlen, Gemenge und Glas.

Je älter ein Gewerbe ist, desto stärker blüht in ihm erfahrungsgemäß die Überlieferung, und je mehr diese wieder erstarkt ist, desto altmodischer sind meist die Mittel der Fertigung. Prüft man in diesem Zusammenhang die Frage der Materialbewegung in Glashütten, so wird man bemerken können, daß gegenüber der Rücksicht auf Überlieferung, auf Schonung althergebrachter Arbeitsweisen noch vielfach die Einsicht zurücksteht, daß andre Verhältnisse auch andre Mittel erfordern. Konnte man sich früher den Luxus erlauben, Menschen mit unproduktiven Arbeiten in mehr oder minder großer Beschaulichkeit und Leistungslosigkeit zu erhalten, so drängt heute die durch schärfsten Wettbewerb und durch soziale Pflichten erschwerte Wirtschaft zum Ersatz jeder nur irgend ausschaltbaren Menschenarbeit. Die Handarbeit kostet nicht nur dauernd viel Geld, sondern ermöglicht vor allem nicht die Leistung eines neuzeitlichen Betriebes und schließt mit der menschlichen Unzuverlässigkeit noch einen Unsicherheitsfaktor ein, den die Glashütte wegen der Eigenart ihres jahrelang ununterbrochenen Ofenbetriebes am allerwenigsten verträgt.

Außer der grundsätzlichen Ausschaltung der Handarbeit, wo das nur immer angängig ist, erfordert eine zweckmäßige Anordnung und Ausbildung der Lastenbewegungen ganz allgemein den kürzesten Weg für diese, und zwar so, daß dadurch andre Arbeiten und Betriebsvorgänge nicht gestört oder gar gehindert werden. Die erste Forderung erscheint zur Vermeidung eines unnötigen Zeit- und Arbeitsaufwandes selbstverständlich, die letztere ist durch die Zerbrechlichkeit und durch die oft recht hohe Temperatur der Fertigungsstoffe in Glashütten besonders beachtlich.

Der Zweck der folgenden Betrachtungen soll sein, bei den glastechnischen Betrieben zunächst die Aufmerksamkeit auf die wichtige Frage der Materialbewegung überhaupt zu lenken und weiterhin durch Vorführung diesbezüglicher Ausführungen und Möglichkeiten zur praktischen Weiterbeschäftigung mit dieser Frage anzuregen. Es ist selbstverständlich, daß die gebrachten Ausführungen und Vorschläge nicht Normen darstellen, die für jeden Fall anzuwenden sind, sondern nur Beispiele dafür, wie in gegebenen Fällen eine zweckmäßige Lösung der Beförderungsfrage angestrebt worden ist. Die außerordentliche Verschiedenartigkeit der Glashütten hinsichtlich der Fertigung oder in örtlicher Beziehung oder in wirtschaftlicher Hinsicht erfordert natürlich in jedem Fall eine gesonderte Behandlung der Frage.

Die Reihenfolge unserer Betrachtungen ist nach der Art des Fördergutes gewählt, d. h. je nachdem, ob es sich um die Beförderung von Brennstoffen oder von Glas während der Fertigung oder von Fertigwaren handelt.

Zahlentafel 1 zeigt zunächst, um welche täglichen Mengen es sich bei der Materialbewegung in Glashütten handelt.

Man erkennt, daß in neuzeitlichen Glashütten aller Fachgruppen täglich schon ganz gewaltige Gewichtmengen an Brennstoff-, Roh- und Fertigwaren zu bewegen sind, die eine Bewältigung mit der Hand allein schon wegen ihrer Menge unangebracht erscheinen lassen müßten, selbst wenn andre Umstände bei der Beurteilung der Förderverfahren nicht mitsprächen. Sogar bei kleinen Hütten, die einen Verbrauch von nur einigen hundert Zentnern Kohlen täglich haben, dürfte das noch vielfach geübte Verfahren, die Kohlen mit der Hand aus dem Eisenbahnwagen auszuschaufeln und gegebenenfalls durch Benutzung von Handwagen oder Karren nach den mehr oder weniger weit entfernten Schüttungen zu schaffen, eine wirtschaftliche Lösung nicht darstellen. Besser erscheint zweifellos das halbmaschinelle

Zahlentafel 1.

Fachgruppe	Flaschen	Spiegelglas	Tafelglas	Hohlglas
Jahreserzeugung	10 Mill. 1 Fl.	200 000 m² 1 m² Rohgl. (12 mm)	300 000 m² 1 m²	—
Gewicht der Einheit	= 750 g	= 31 kg	= 5,5 kg	—
Gewicht der Jahreserzeugung	7 500 t	6 200 t	1 650 t	1 650 t
Tageserzeugung	32 000 Stück	640 m²	1 000 m²	—
Gewicht der Tageserzeugung	24 t	20 t	5,5 t	5,5 t
Rohstoffe:				
Gemenge	35 t	35 t	7,9 t	6,5 t
davon sind:				
Sand	18 t	20 t	4 t	—
Sulfat und Soda	4 t	8 t	1,4 t	—
Kalk	7 t	7 t	1,4 t	—
Versch. Bestandteile	6 t	0,5 t	1,1 t	—
Brennstoffe:				
Steinkohlen (7 000 kcal)	34 t	55 t	17,5 t	—
Braunkohlen, Briketts (4 800 kcal)	50 t	80 t	25,6 t	16 t

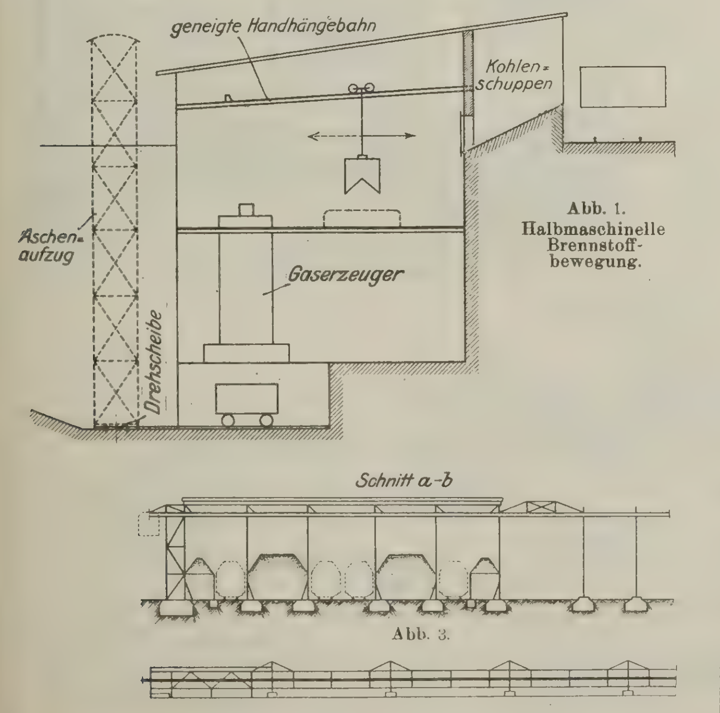


Abb. 1. Halbmaschinelle Brennstoffbewegung.

Abb. 3.

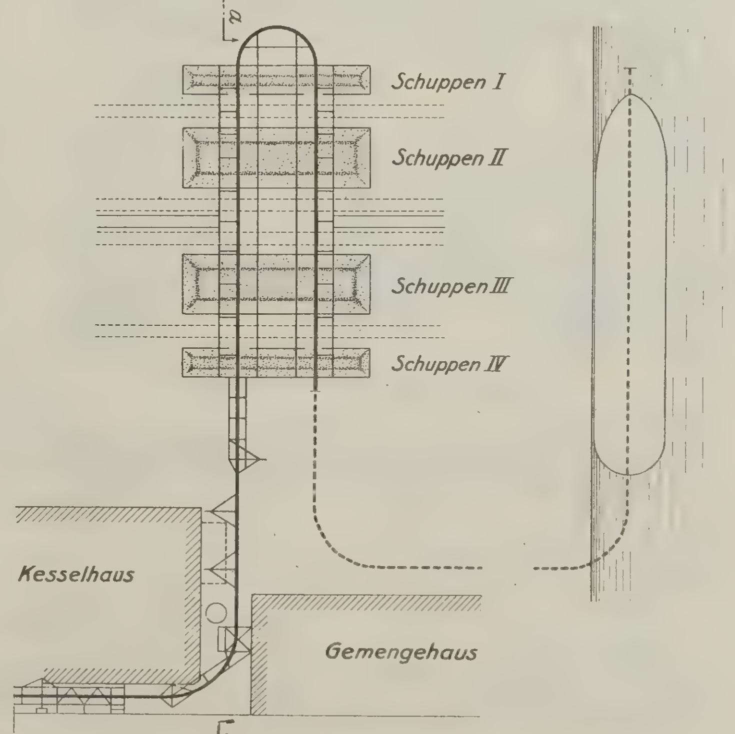


Abb. 2 und 3. Elektrohängebahn zur Entladung und Lagerung von Kohlen und Gemenge.

Verfahren nach Abb. 1, bei dem die Kohlen unter teilweiser Ausnutzung ihrer Schwerkraft befördert werden. Die hier als Fördermittel benutzte Hängebahn — allerdings in allereinfachster Ausbildung in bezug auf Antrieb und Linienführung — gestattet in ihrer vollkommenen Durchbildung mit elektrischem Antrieb und unter Ausnutzung ihrer besonderen Fähigkeit als Einschienenbahn auch die stärksten Ablenkungen der Fahrbahn und erscheint als das vollkommenste Hilfsmittel zur Bewegung der Kohlen in Glashütten beliebiger Leistungsfähigkeit, und besonders dann, wenn der Weg der Kohlen verwickelt und weitläufig ist. Wenn das Fördermittel sich, mit oder ohne Steigung seiner Fahrstrecke, zwischen vorhandenen Baulichkeiten hindurchzuschlängeln hat und dabei trotz angestrengten Betriebes durch den übrigen Verkehr in der Hütte weder selbst beeinträchtigt werden, noch diesen irgendwie behindern soll, dann ist die Elektrohängebahn die vollkommene Lösung.

Abb. 2 und 3 veranschaulichen eine solche Bahn in einer großen brandenburgischen Glashütte: Die Stoffe kommen hier teils mit der Bahn, teils mit dem Kahn an. Dabei werden die Kohlen — sechs Eisenbahnwagen täglich — mittels einer Bleichertschen Elektrohängebahn mit Führerstand-Laufkatze (für Drehstrom) vom Wagen entweder unmittelbar über lebhafte Werkstraßen hinweg in das hinter andern Gebäuden gelegene Gaserzeugerhaus geschafft oder auf das neben den Anfuhrgleisen angeordnete Lager geschüttet. Die Entladung der mit Sand und Glasbruch gefüllten Schiffe, die gegenwärtig noch in einfachster Weise durch Handkarren besorgt wird, soll nach Weiterführung der zurzeit 272 m langen Fahrstrecke der Elektrohängebahn auch von dieser (wie punktiert) übernommen werden. Die Anlage arbeitet nur mit einer Katze, zweckmäßiger Weise aber mit zwei Kübeln (mit Bodenentleerung), wovon immer einer vollgeschaufelt, während der andre befördert wird. Die mittlere Leistung beträgt bei 110 m Förderweg 13,5 t/h.

Die vielseitige Verwendbarkeit der Elektrohängebahn, die u. a. auch darin begründet ist, daß ihre Leistungsfähigkeit durch einfache Hinzunahme weiterer Fahrzeuge beliebig gesteigert werden kann, geht treffend auch aus den Abb. 4 und 6 hervor. Die Anlage dient zur Entladung der mit der Eisenbahn in einem großen Oberlausitzer Glashüttenwerk ankommenden Kohlen, zu ihrer Weiterschaffung nach dem Gaserzeugerbunker oder zu ihrer Einlagerung in einen neuen hohen Schuppen; gleichzeitig aber auch zur Beförderung und Verladung von Kisten. Abb. 4 bis 6 lassen die Gesamtanordnung erkennen. Wie in den meisten Fällen hat sich auch bei dieser Anlage der Entwurf den vorhandenen Verhältnissen, das ist den bestehenden Örtlichkeiten, anpassen müssen: Die alten Gaserzeugergebäude haben eine Weiterführung der Elektrohängebahn-Abzweigung von den benachbarten drei Gaserzeugern nicht möglich gemacht. Um nun auch die übrigen Gaserzeuger mit Hilfe der Elektrohängebahn mit Kohlen versorgen zu können, hat sich das Werk selbst die in Abb. 7 wiedergegebene Einrichtung eines fahrbaren Bunkers geschaffen[1]), der vermöge seiner zweckdienlich angepaßten Bauart (Ausstattung mit beiderseitig ausklappbaren Schurren) die Bedienung auch der versteckt liegenden Schüttungen ermöglicht. Diese Einrichtung kann gegebenenfalls auch für das Ausladen von Sand oder Marmormehl in die längs des Fahrgleises gelegenen Schuppen verwendet werden. Die Gesamtlänge der Elektrohängebahn für Rohbraunkohlen und Briketts beträgt 224 m, ihre Leistungsfähigkeit bei der Beförderung von der Eisenbahn in das neue Gaserzeugerhaus 28 t, bis in den neuen Lagerschuppen 18 t/h. Wenn für die Bedienung der Gaserzeuger des neuen Hauses noch die in Abb. 5 und 6, Schnitt *c — d*, ersichtliche kleine Elektrohängebahn in Schleifenform angeordnet ist, deren Kübel aus dem Bunker der Hauptbahn gespeist wird, so war für diese ungewöhnliche Lösung wieder die Rücksicht auf Vorhandenes bestimmend.

Eine Anordnung, die bei völliger Unabhängigkeit von Vorhandenem — also vor allem bei Neubauten — nach Ansicht des gleichen Werkes als wirtschaftlich für große Betriebe gelten könnte, ist in Abb. 8 und 9 schematisch dargestellt: Sie besteht darin, daß man zwei nebeneinander liegende Gaserzeugeranlagen durch eine hohe Brandmauer trennt, so daß auf jeder Seite der Mauer drei Gaserzeuger aufgestellt werden können. Diese drei Gaserzeuger schicken das Gas in je einen Sammelkanal, der von dem gegenseitigen ebenfalls durch die Brandmauer getrennt ist,

[1]) Die Elektrohängebahn ist von Adolf Bleichert & Co., Leipzig, gebaut worden.

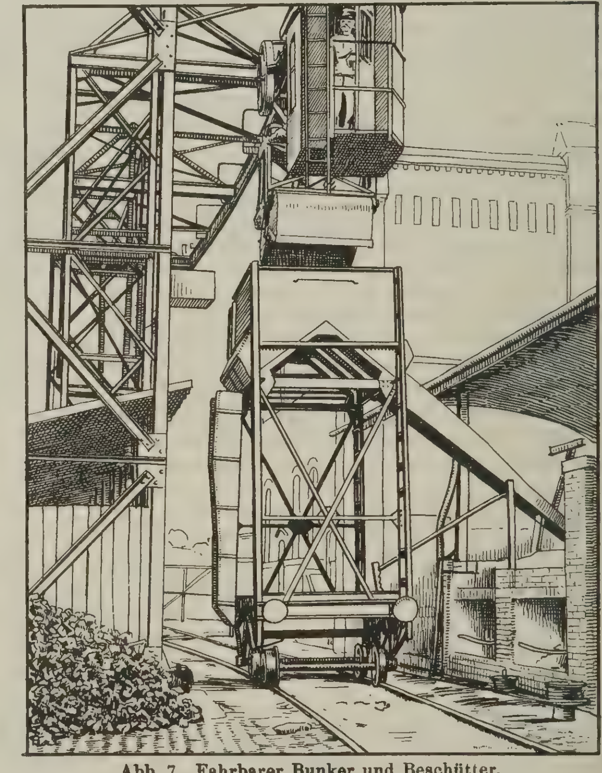


Abb. 7. Fahrbarer Bunker und Beschütter.

Schnitt c-d

Abb. 5.

Schnitt a-b

Führerhaus

Abb. 4.

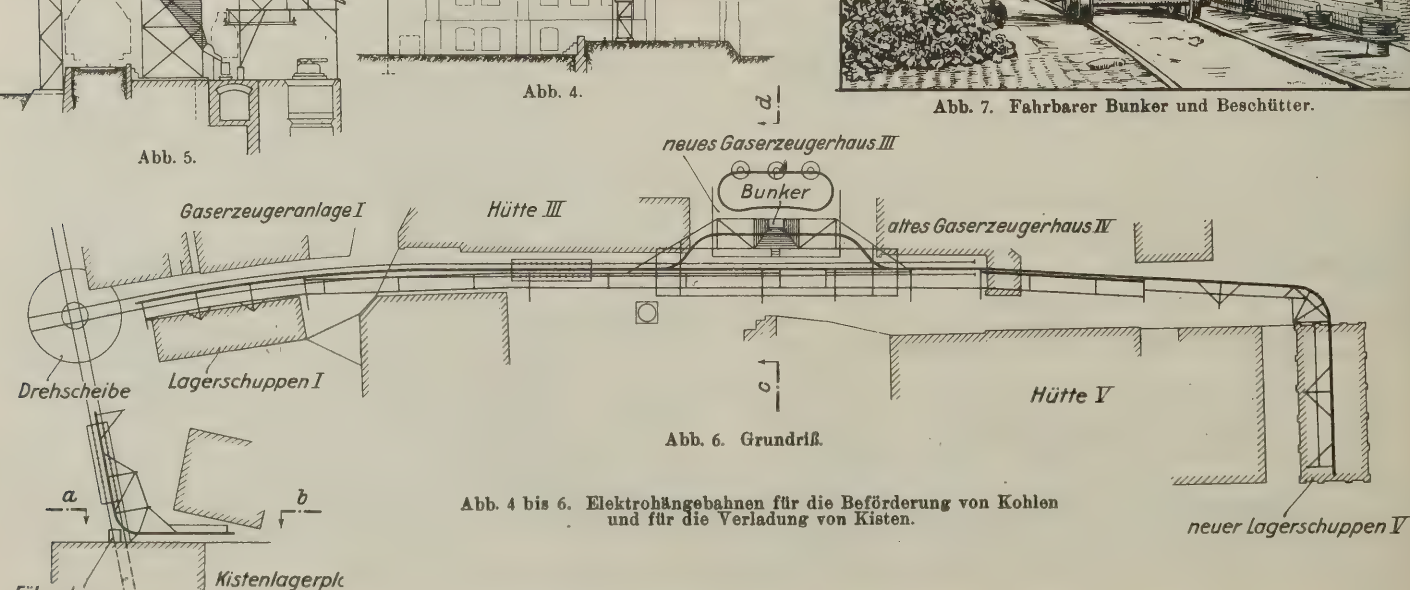


Abb. 6. Grundriß.

Abb. 4 bis 6. Elektrohängebahnen für die Beförderung von Kohlen und für die Verladung von Kisten.

Abb. 8. Grundrißanordnung.

Abb. 9. Querschnitt durch die Kohlenbunker und die Gaserzeuger.
Abb. 8 und 9. Schema einer Gaserzeuger-Beschickanlage für größere Glashütten.

so daß eine unmittelbare Verbindung ausgeschlossen ist. Beide Sammelkanäle sind so eingerichtet, daß sie durch geeignete Verbindungen, Ventile usw. vereinigt oder auch voneinander abgeschlossen werden können. Vor den Gaserzeugern würden zweckmäßig die Hütten ebenfalls parallel liegen und das Gas aus den Kanälen zu den Öfen in die Hütten geleitet werden, wobei die Abhitze im Schornstein gegebenenfalls sogar für den Betrieb einer kleinen Dampfmaschine ausgenutzt werden könnte. Unmittelbar über den Gaserzeugern sind die Bunker mit Zwischenabteilungen für Rohkohle und Briketts so angebracht, daß über jedem Gaserzeuger ein Abteil für jede Brennstoffsorte vorhanden ist. Von hier könnten die Kohlen dann unmittelbar in den oberen Trichter des Gaserzeugers geleitet werden, nachdem die zu vergasende Menge durch eine entsprechnde Meßvorrichtung abgeteilt worden ist. Eine solche Anordnung der Bunker hätte gleichzeitig den Vorteil, daß die Kohlen durch die ausgestrahlte Wärme des Gaserzeugers an Wassergehalt verlieren würden. Wenn dies zwar auch nur wenige Hundertteile sein werden, so dürfte dadurch die Nützlichkeit der Anlage immerhin noch etwas gehoben werden. Die Gaserzeuger werden bei diesem Entwurf durch die im Grundriß strichpunktiert angedeutete Elektrohängebahn beschickt, die über den Bunkern angeordnet ist und deren einfache Linienführung auch das Eisenbahngleis zur Entladung der Wagen einbegreift.

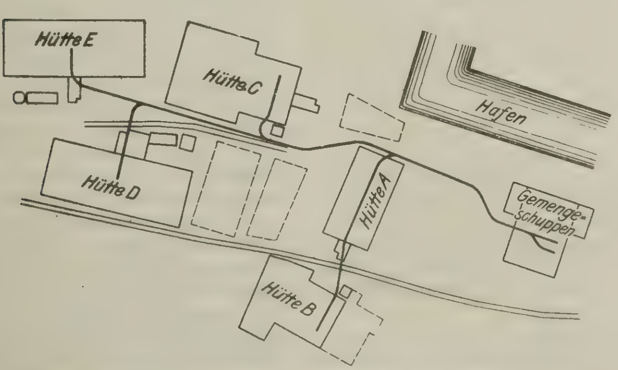


Abb. 10. Linienführung der Elektrohängebahn in einer Glashütte.

Abb. 11 und 12. Förderanlage für Gemenge.

Für die Bewegung der Gemengematerialien, die bei größeren Werken auch in beachtlichen Mengen, wie die Zahlentafel 1 erkennen läßt, verarbeitet werden, kommt aus den nämlichen Gesichtspunkten heraus gleichfalls die Elektrohängebahn als geeignetes maschinelles Fördermittel in Betracht. Abb. 10 zeigt in dem Lageplan einer norddeutschen Glashütte zunächst die räumliche Anpaßfähigkeit dieses Fördermittels, das sich vermöge seines kleinen Durchgangprofils und seiner dem Erdboden entrückten Fahrbahn auch für den nachträglichen einfachen Einbau in selbst sehr beengte und zusammengeschachtelte Werkanlagen eignet. Diese Anlage dient zur Verbindung des Gemengeschuppens mit einer größeren Anzahl getrennt liegender Hütten. Das Hängebahngleis durchzieht den Schuppen mit mehreren Strecken, so daß das Gemenge entweder von den Mischmaschinen nach den einzelnen Verbrauchstellen gebracht oder im Schuppen gelagert werden kann, von wo es nach Bedarf in die Hängebahnwagen eingeschaufelt wird. Die Anlage, die aus dem Schuppen in einer Steigung ausfährt, arbeitet

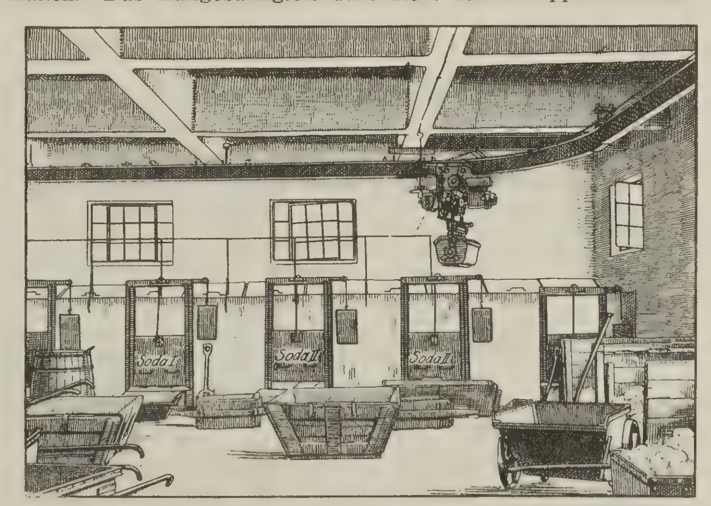


Abb. 13. Förderanlage für Gemenge.

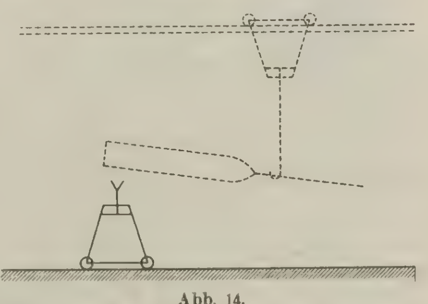


Abb. 14.
Beförderung der Walzen nach den Gestellen.

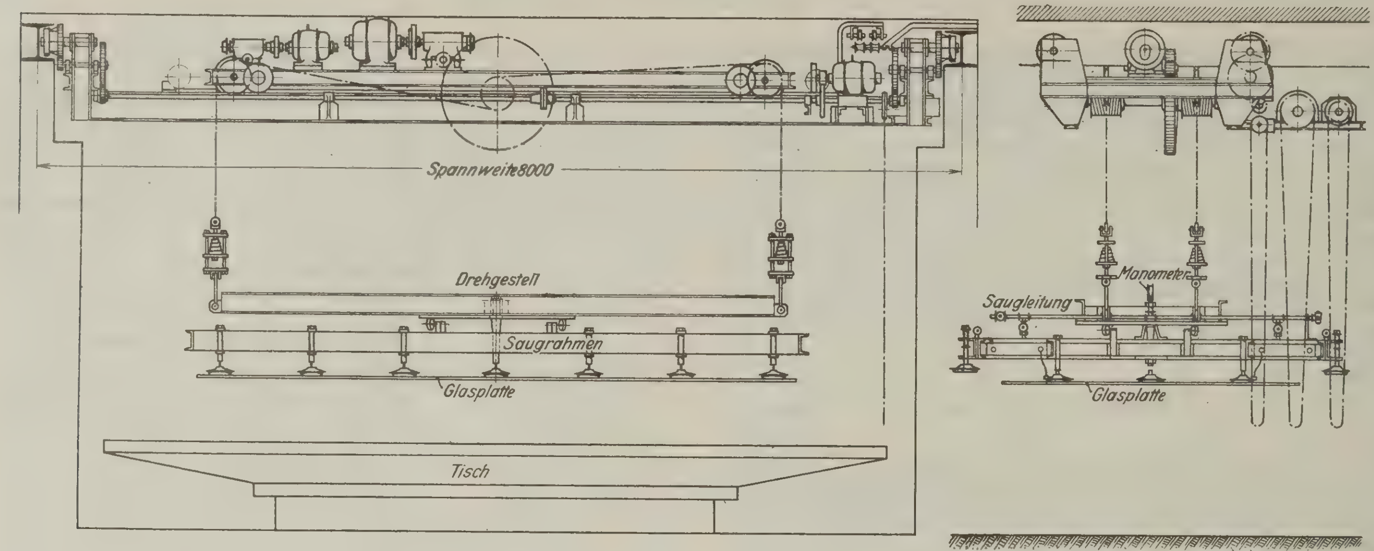


Abb. 15 und 16. Laufkran für die Beförderung von Glastafeln.

mit zwei Kippkübelwagen, wovon immer einer beladen wird, während der andre selbsttätig die Strecke durchläuft. Bei einem Kübelinhalt von je 600 kg beträgt die mittlere Leistung dieser 335 m langen Bahn 5 t/h.

Der senkrechten und wagerechten Beförderung von losem Sand und von Alaun und Soda in Säcken und Fässern dient die Anlage nach Abb. 11 bis 13. Sie ist in einer rheinischen Glasfabrik dazu bestimmt, die Stoffe aus dem Keller des Gemengehauses nach den an den Wänden des Obergeschosses aufgestellten Füllkästen zu schaffen. Der zu dem Zweck vorgesehene Windenwagen einer ringförmigen Elektrohängebahn hat einen Kübelinhalt von 2 hl, entsprechend 300 kg, womit die Anlage, bei 52 m Längsausdehnung und 8 m Hubhöhe, eine Leistung von durchschnittlich 3 t/h aufweist.

Sind bei der Bewegung der Brennstoffe und Gemengematerialien in der Hauptsache die Gesichtspunkte zu beachten, die sich aus dem Streben nach Ausschaltung der Handarbeit und nach Erreichung größerer Leistungen ergeben, so treten beim Befördern des eigentlichen Fertigungsgutes selbst, des Glases, Forderungen auf, die ihren Grund in der besondern Empfindlichkeit dieses Fördergutes gegen Erschütterungen oder Stöße und zuweilen auch in seiner hohen Temperatur haben. Die Rücksicht auf die Fördermenge spielt hierbei in der Regel eine untergeordnete Rolle, da der Fertigungsgang fortlaufend selbst nur kleinere Mengen erbringt. Sieht man von den Einrichtungen ab, die z. B. im Kühlofen das Glas in langsam fortschreitende Bewegung versetzen und die oft mehr ein Wanderrost als ein eisernes Förderband sind, oder die im Streckofen die gesprengten Walzen und die Tafeln verschieben, so bleibt als häufigster Fördervorgang, bei dem wegen der weitausladenden und beschwerlich zu befördernden Lasten eine gewisse Mechanisierung angestrebt wird, in den Tafelglashütten die Bewegung der Walzen vom Trommelofen nach den Gestellen. Abb. 14 zeigt, wie eine Erleichterung dieses Vorganges gewöhnlich angestrebt wird. Eine einfache Hängeschiene oder auch ein Flurgleis dient dazu, die an der Pfeife hängende Walze durch Auflegen auf einen haken- oder gabelförmigen Teil eines Gleiswagens leicht und stoßfrei weiter zu schaffen.

Während eine solche wenigstens halbmechanische Beförderung der infolge ihrer weiten Ausladung allerdings schwer zu handhabenden Lasten meines Wissens allgemein üblich ist, werden die Walzen nach den oft recht entfernt gelegenen Strecköfen in der Regel ohne jede mechanische Unterstützung mit der Hand weiter befördert. Bedenkt man, daß dabei die mit den sperrigen und spröden Lasten beladenen Arbeiter oft Wege von 40 und mehr Metern zurückzulegen haben, so dürfte man in solchen Fällen wohl die Zuhilfenahme leichterer und sicherer Förderarten als erstrebenswert ansehen. Der Grund für solche wenig wirtschaftlichen Zustände liegt letzten Endes meist in einer wenig zweckmäßigen Anlage des Werkes: Genau so, wie z. B. eine zusammenfassende Anordnung der bei den einzelnen Schmelzöfen oft weitverstreuten Gaserzeuger die Bedienung der Schüttungen viel weniger umständlich und unwirtschaftlich gestaltet, ebenso vermag eine von vornherein getroffene räumliche Annäherung der zusammenarbeitenden Stätten, von Schmelzofen und Trommelofen einerseits und von Trommelofen und Gestell bzw. Streckofen anderseits, die Nachteile am einfachsten und wirksamsten zu beseitigen, die in der Länge der Transportwege liegen.

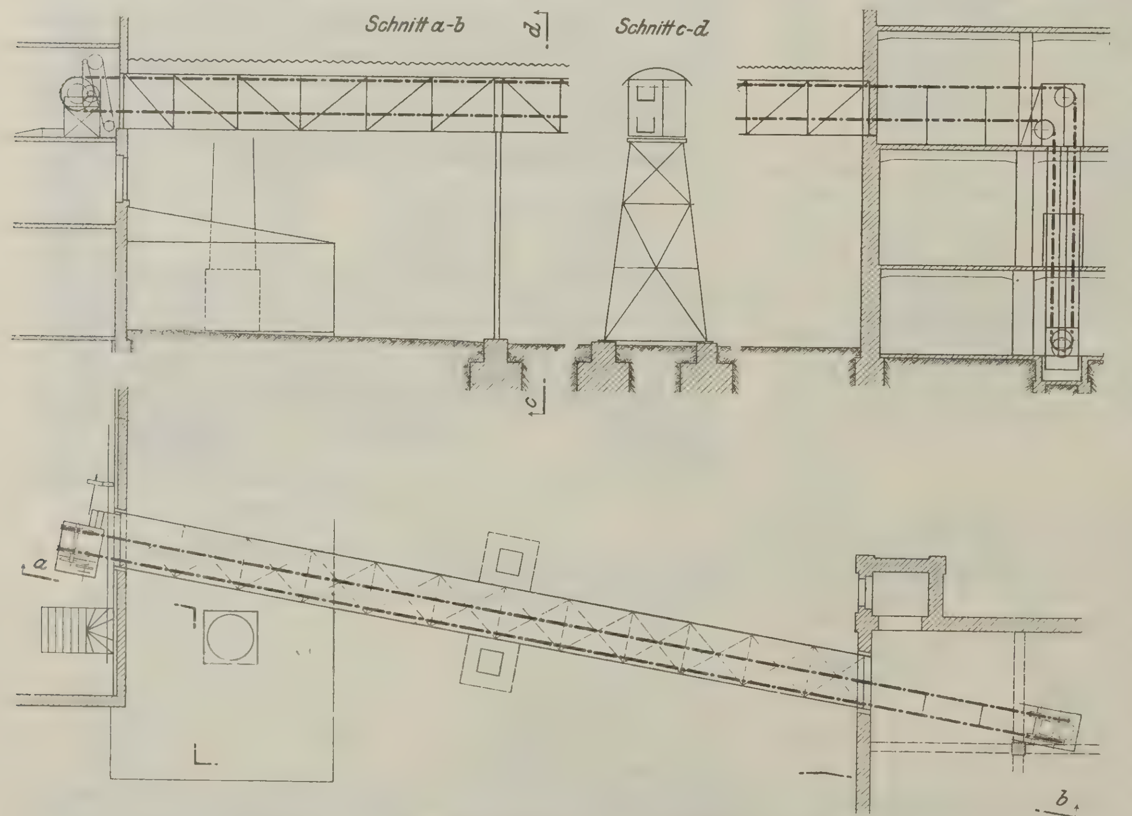


Abb. 17 bis 19. Schaukeltransporteur für die senkrechte und wagrechte Beförderung losen oder verpackten Gutes.

Auf die Ausbildung der Beförderungsmittel der Fertigware innerhalb des Werkes, für die im allgemeinen natürlich die Rücksicht auf deren leichte Zerbrechlichkeit maßgebend ist, wird im besonderen zunächst die Art und die Verpackungsmöglichkeit des Fördergutes und dann selbstverständlich auch die Art des Förderweges von Einfluß sein. Einerseits sind sanfte, erschütterungsfreie Förderweisen, einschließlich der Aufnahme- und Absetzmöglichkeit, um so mehr erforderlich, je weniger das Gut durch Verpackungsstoffe gegen Bruch geschützt ist; anderseits kommen für die Beförderung z. B. in einer Flucht andre Mittel in Betracht als für solche mit beliebig gerichteten Ablenkungen.

Einige Ausführungsbeispiele mögen dies veranschaulichen. Die zum Heranschaffen und zum Auf- und Ablegen großer Glasplatten auf den Schleiftisch dienende Einrichtung von zweckmäßig laufkranartiger Anordnung ist für ein sicheres und doch schonendes Erfassen der Spiegelscheiben mit Saugtellern ausgestattet, die federnd an einem heb-, senk- und schwenkbaren Rahmen befestigt sind. Abb. 15 und 16 läßt einen solchen von Mohr & Federhaff, Mannheim, für eine rheinische Spiegelglashütte gebauten Sonderkran erkennen.

Eine Einrichtung, die sich zu beliebig gerichteter Beförderung loser, halb oder ganz verpackter Glasware eignet, ist der in Abb. 17 bis 19 dargestellte sogenannte Schaukeltransporteur, bei dem an Zugketten pendelnd aufgehängte — also bei jeder Förderrichtung oder -ablenkung wagrecht eingestellte — Plattformen das darauf gelegte Gut mitnehmen, bis es an einer beliebigen Stelle des Förderlaufes von Hand abgenommen wird. In der fast unbegrenzten Möglichkeit seiner Linienführung gleicht diese Einrichtung ebenso wie in der grundsätzlichen Aufhängung und Mitnahme des Fördergutes und in seiner kontinuierlichen Arbeitsweise den bekannten Pendelbecherwerken, wie sie für die Bewegung losen Massengutes — vor allem zur Bekohlung von Kesseln — allenthalben sich bewährt haben.

Für die Bewegung von versandmäßig in Kisten gut verpackten Glaswaren innerhalb der Werke spielt die Eigenart des Erzeugnisses wohl kaum noch eine Rolle. Es treten vielmehr die allgemeinen wirtschaftlichen und betrieblichen Rücksichten in den Vordergrund in dem Bestreben, den Aufwand an Menschenkraft und Zeit, ohne Einbuße natürlich an Transportleistung, nach Möglichkeit gering zu halten und durch die Beförderung andre Betriebsvorgänge im Werk nicht zu stören. Wie auch diese Aufgaben von der Elektrohängebahn in Anpassung an gegebene örtliche Verhältnisse gelöst werden können, hat bereits Abb. 4 bis 6 in der neuen Kistenverladeanlage erkennen lassen. Die zweckmäßige Anordnung des Führerstandes hat dabei trotz der winkligen Anlage eine gute Übersicht der beiderseitigen Arbeitsplätze ermöglicht.

Während die Hochlage der Fahrbahn von Fördergefäßen natürlich stets den Vorteil hat, daß die Beförderung ungehindert durch den übrigen Werkverkehr von statten gehen kann und auch umgekehrt, daß andre betriebliche Vorgänge durch den Verkehr nicht behindert werden, haben die dem Boden entrückten Förderbahnen besonders für empfindliche Güter ja noch den weiteren Vorteil, daß der für stoßlose Beförderung notwendige gute Zustand des Fahrweges von selbst erhalten bleibt. Verunreinigungen oder gar gröbere Hindernisse, die selbst bei bodenständigen Gleisbahnen ein unsanftes Fahren bewirken können, sind bei ihnen völlig ausgeschlossen. Anderseits erfordert die Anlage der hochgelegenen Fahr- oder Führungsbahn natürlich erhebliche Mehrkosten, ganz abgesehen davon, daß sie, wie jede Gleisbahn, nur eine genau festgelegte Transportverbindung gestattet. Beim Befördern von in Kisten oder anders verpacktem Material kommen nun auch in Glashütten Rücksichten der vorgenannten Art meist wenig oder gar nicht in Frage, so daß man die in der Freibeweglichkeit gleisloser Flurtransportmittel gelegenen Vorzüge auch hier ausnutzen kann. Ein neuzeitliches, durch seine Lenk- und Leistungsfähigkeit besonders ausgezeichnetes Hilfsmittel dieser Art erscheint in dem Bleichertschen Elektrokarren „Eidechse", Abb. 20, verkörpert. Eigenartig ist ihm vor allem die Lenkeinrichtung, die durch das auf den wippbaren Führerstand wirkende Körpergewicht des Führers betätigt wird. Dadurch wird einesteils die sonst zum Lenken benutzte Hand für das Sichfesthalten bzw. für eine Bremsbetätigung frei, andernteils einer vorzeitigen Ermüdung des Mannes bei häufigem Kurvenfahren vorgebeugt. Die starke Gummibereifung der Laufräder und die federnde Aufhängung der Akkumulatorenbatterie halten die schädliche Auswirkung von Stößen beim Fahren fern. [A 288]



Abb. 20. Elektrokarren „Eidechse" für gleislose und beliebig gerichtete Beförderung verpackter oder loser Materialien.

Die Wärmeausdehnung des Glases bei hohen Temperaturen.

Über neuere Messungen der Wärmeausdehnung von Glas bei hohen Temperaturen des amerikanischen „Bureau of Standards" berichtet Dr. Schönborn in den Glastechnischen Berichten Bd. 1 (1923) Nr. 5.

Die Messungen erstreckten sich bis zum Erweichungspunkt des Glases. Sie wurden mit dem Gerät von Fizeau-Pulfrich ausgeführt, dessen hohe Empfindlichkeit gestattete, daß man sehr kleine Proben benutzen konnte. Der gut wärmeisolierende elektrische Ofen, in dem die Messungen an 32 verschiedenen Gläsern vorgenommen wurden, wurde von Zimmertemperatur bis auf 600 bis 700 °C derart erwärmt, daß die Temperatur in 1 min um 4 °C erhöht wurde. Die Temperatur wurde mit einem Platin-Platinrhodium-Thermoelement gemessen. Bei tieferen Temperaturen ergab sich ein gleichmäßiger Verlauf des Ausdehnungsbeiwertes. Die anschließende kritische Zone des Glases erstreckt sich etwa über 40 °C; in ihr nimmt der Ausdehnungsbeiwert immer mehr zu, so daß sich schließlich ein Wert ergibt, der bis zu siebenmal so groß ist wie unterhalb der kritischen Zone. Von hier aus ist über rd. 75 ° der Ausdehnungskoeffizient wieder gleichbleibend, bis schließlich das Glas weich wird. Den Unterschied der spezifischen Wärme oberhalb und unterhalb der kritischen Zone führt man darauf zurück, daß wahrscheinlich einige Bestandteile des Glases schmelzen und das Ganze zu erweichen beginnt.

Bei sehr schnell gekühlten Gläsern nahm zuerst unterhalb der kritischen Zone der Ausdehnungsbeiwert ab. Dies wird daraus erklärt, daß beim zu schnellen Kühlen die äußeren Schichten zuerst fest werden, während die inneren Schichten entsprechend dem sehr großen Ausdehnungsbeiwert oberhalb der kritischen Zone sich sehr stark zusammenziehen. Beim Wiedererwärmen eines solchen Glases werden dann die äußeren Schichten zuerst erweicht, sie geben infolge der beim Erkalten entstandenen Zugspannungen nach, so daß eine Zusammenziehung stattfinden kann.

Man schließt aus diesen Beobachtungen, daß die meisten beim Kühlvorgang im Glase auftretenden Spannungen von der Kühlgeschwindigkeit und dem Unterschied der Ausdehnungsbeiwerte oberhalb und unterhalb der kritischen Zone abhängen. Bei sehr großem Unterschied der Ausdehnungsbeiwerte muß durch die kritische Zone hindurch sehr vorsichtig abgekühlt werden. [M 396] Sd.

Glasieren nach dem Begießverfahren.

Keramische Gegenstände werden maschinell entweder nach dem Tauchverfahren, dem Spritzverfahren oder dem Gießverfahren glasiert. Die Glasiermaschine, Bauart Althoff-Dorst, arbeitet nach dem Begießverfahren. Sie dient besonders zum Glasieren von Flachware, wie Kacheln, Platten usw.

Die Gießvorrichtung besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen: Das im Gestell der Maschine untergebrachte Rührwerk nimmt die täglich erforderliche Glasurmenge auf. Diese wird von hier durch eine Membranpumpe über ein Klopf- und ein Feinsieb in einen Vorbehälter und aus diesem in das Glasiergefäß gefördert, von dem aus die Glasur in breitem Strahl auf die Platten fließt, die auf zwei dünnen parallelen Drahtseilen unter dem Strahl hindurchgleiten. Der Glasurstrahl fließt in seiner ganzen Breite mit der gleichen Geschwindigkeit und ist durch besondere Vorrichtungen von allen Druckstörungen durch den Zufluß unabhängig gemacht. Die auf die Platten entfallende Glasurmenge wird entweder durch Veränderung der Flüssigkeitshöhe des Glasiergefäßes oder durch Veränderung der Durchführungsgeschwindigkeit der Platten geregelt.

Die auf den Seiten der Platten etwa überfließende Glasur wird durch besondere Abschabevorrichtungen entfernt und dem Rührwerk wieder zugeführt. Die Drahtseile werden in einem Wasserbade von der anhaftenden Glasur befreit, so daß sie auf der Rückseite der Platten keine Glasur hinterlassen können.

Für den Überzug von Wandplatten mit Majolikaglasur tritt an die Stelle des üblichen ein aus Bronze hergestelltes, mit einem Deckel luftdicht abgeschlossenes Glasiergefäß. Die unter ihm durchlaufenden Platten regeln hier selbsttätig den Glasurausfluß. Die überfließende Glasur wird seitlich in einem Eimer aufgefangen. Man kann hierbei verschiedene Farbtöne hintereinander auch in kleineren Mengen gut verarbeiten, da das Glasurgefäß leicht herausgenommen und schnell gereinigt werden kann. (Tonindustrie-Zeitung Bd. 48 vom 10. Mai 1924) [M 397] Sd.

Vom wärmetechnischen Meßwesen in Glashütten.

Von Dr.-Ing. H. Maurach, Frankfurt a. M.

Zweck betriebstechnischer Messungen in Glashütten — Praktische Erfahrungen und Fortschritte des wärmetechnischen Meßwesens — Temperatur-Meßgeräte für Temperaturen über 1000° C — Gasdruckmessungen und -regler — Gasuntersuchungen und selbsttätige Gasprüfer.

Die Unterscheidung von Messungen nach ihrem Zweck.

Bedient sich der Ingenieur der Praxis bei seinen wärmewirtschaftlichen Arbeiten der hierzu erforderlichen Meßgeräte im Betriebe, so treten immer wieder der sachkundige Meßtechniker oder technische Physiker mit Bedenken gegen die Meßergebnisse infolge Nichtbeachtung der vielen Nebenumstände auf, die eine wissenschaftlich einwandfreie Messung berücksichtigt sehen wollen. Durch das Aufkommen solcher Zweifel wird der Wert der Messungen in industriellen Anlagen seitens der meisten über die Einzelheiten sachunkundigen Unternehmer unberechtigterweise in Frage gestellt und dadurch auch die Entwicklung des Meßwesens stark behindert.

Um ein Urteil über die Eignung von Meßgeräten und Meßverfahren in Glashütten fällen zu können, muß man auf den Zweck der Messungen Rücksicht nehmen. Dabei sind grundsätzlich folgende Unterscheidungen zu treffen:

Wissenschaftliche Messungen.

Durch sie sollen die Vorgänge in den verschiedenen Feuerungseinrichtungen und bei den Verarbeitungsverfahren des glühenden Glases die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen den maßgebenden Größen erforscht werden. Die Beseitigung von Meßfehlern durch strengste Beachtung aller technisch-physikalischen Laboratoriumsverfahren zur Ermittlung von absolut genauen Werten tritt dabei in den Vordergrund.

Betriebstechnische Messungen.

Diese können in zwei große Gruppen unterteilt werden:

1. Technologische Messungen. Sie bezwecken den Gang der Fabrikation zu überwachen, die Ursache von Störungen und Fehlerquellen aufzudecken. Ihr Endziel ist die Erhöhung von Menge und Güte der erzeugten Waren. Man begnügt sich bei den Feststellungen meistens mit angenäherten Relativwerten.

2. Wärmetechnische Messungen. Sie sollen den Verlauf der fabrikatorisch nutzbar umgesetzten Wärme sowie der Wärmeverluste ermitteln, um letzten Endes Wärmebilanzen aufstellen zu können und dadurch die Selbstkosten der erzeugten Waren durch Brennstoffersparnisse zu verringern. Sie greifen teils auf technologische, teils auf wissenschaftliche Meßergebnisse zurück. Die rechnerische Auswertung der Meßergebnisse ist ihr Endzweck.

Die Messungen der Gruppe „Wissenschaftliche Messungen" obliegen meist dem Wissenschaftler und dienen ausschließlich der Forschung. Ihre Pflege muß sich jede Industriegruppe angelegen sein lassen, um vorwärts dringend einen Stillstand der Technik zu verhüten. Sie sollen in diesen Ausführungen nicht behandelt werden.

Dagegen kann der gut geleitete neuzeitliche Betrieb auf Messungen der Gruppe „Betriebstechnische Messungen" teils als Einzelmessungen, teils als Dauermessungen nicht verzichten. Betriebstechnische Messungen mit technologischem Zweck werden in der Glasindustrie schon seit längerer Zeit ausgeführt zur Beobachtung der Schmelz- und Kühlvorgänge. Unter dem Zwang der wirtschaftlichen Verhältnisse fanden allmählich auch wärmetechnische Messungen Eingang. Mittels bewährter Temperatur-Meßgeräte, Druck- und Zug-Meßvorrichtungen sowie Gasuntersuchungs-Geräte wird erfolgreich gearbeitet.

Die wichtigste Anlage für Glashüttenbetriebe ist der Schmelzofen. In Abb. 1 bis 3 ist z. B. der Verlauf der Wärmemengen und Temperaturen in einem Spiegelglas-(Hafen-) Schmelzofen wiedergegeben. Um die Wärmemengen und Temperaturhöhen beherrschen zu können, ist es erforderlich, sie in jedem Teile der Anlage genauestens zu kennen, soweit hierzu unsere heutigen theoretischen Kenntnisse über die Vorgänge die Möglichkeit bieten.

Innerhalb der deutschen Glasindustrie beobachten wir durch fortgesetzte Anregung unserer Wissenschaftler nicht nur eine Ausbildung der Meßverfahren, sondern auch dank der Unterstützung durch eine erstklassige feinmechanische Industrie eine erfreuliche Verbreitung und technische Entwicklung des Meßgerätes. Die Verbindung von Praxis und Theorie hat sich im fortgesetzten Gedankenaustausch hierbei nach folgenden Richtungen zugunsten des Meßgeräts entwickelt:

1. Erhöhung der Betriebstüchtigkeit, d. h. Vereinfachung der Konstruktionen, der Bedienung bzw. Benutzung, Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer;
2. Steigerung der Genauigkeit in den Angaben;
3. Ausbildung neuer Geräte und Meßanordnungen entsprechend den Anforderungen der Glashütten.

In allen drei Richtungen sind noch weite Wege zurückzulegen, um strengeren Anforderungen zu genügen. Bei dieser Entwicklung muß häufig auf die Erfüllung der einen Bedingung auf Kosten der anderen verzichtet werden.

Im folgenden sind kurz einige Erfahrungen und Fortschritte des wärmetechnischen Meßwesens in Glashütten in den letzten Jahren besprochen.

Temperaturmessungen.

Die größten Schwierigkeiten bei der Verwendung von Temperatur-Meßgeräten bereitet die Bestimmung von Temperaturen über 1000 °C, wie sie z. B. in den oberen Steinlagen der Regenerativkammern, in den Brennerschächten und insbesondere im Schmelzofenraum auftreten.

Thermoelemente.

Die Drähte der Platin-Platinrhodium-Elemente halten zwar Temperaturen bis 1600 °C in neutraler Atmosphäre aus, ohne Schaden zu leiden. Es gibt aber bis heute noch kein Schutzrohr, das den vereinigten Wirkungen der hohen Temperaturen und der chemischen Einflüsse aus dem Gemenge (SO_2) und den Heizgasen (CO) längere Zeit widerstehen kann. Häufig wurden hochfeuerfeste Schamotterohre schon nach einigen Tagen von dem Gemengestaub in der Schmelzwanne angefressen. In einigen Fällen wurde auch beobachtet, daß die Silika- oder Dinassteine der Ofenausmauerung die Schamotterohre stark angriffen. Silitrohre litten insbesondere durch die Alkalidämpfe aus dem Gemenge. Auch hat sich bei Silitrohren nachteilig gezeigt, daß die zum Abschluß des verschlossenen Endes aufgesetzten Deckel bei höheren Temperaturen sich lösten und dadurch den schädlichen Zutritt von Gasen zum Element ermöglichten. Nach Beschädigung oder Zerstörung der Schutzrohre gingen auch die kostspieligen Elementdrähte schnellstens zugrunde.

Eine Erhöhung der Lebensdauer der Schutzrohre hat man durch zweckmäßige Art des Einbaues zu erreichen versucht. Man ist sehr bald von der beim Gebrauch des Thermoelementes früher meist üblichen senkrecht freihängenden Anordnung abgekommen, Abb. 4, bei der das Element etwa 25 bis 30 cm oder noch mehr in den Ofenraum hineinragte. Um das Gerät jedem unmittelbaren Angriff der Flamme zu entziehen, wurde es späterhin in Nischen der inneren Wand des Gewölbes oder in toten Ecken eingebaut, Abb. 5 und 6. Aber auch diese Einbauweise befriedigte den Praktiker auf die Dauer nicht. Man umgab das Thermoelement mit einer weiteren starken feuerfesten Verkleidung, Abb. 7. Wohl war man sich darüber im klaren, daß der Einfluß der Wärmeableitung durch die schlecht leitenden Schutzrohre bezüglich der Meßgenauigkeit ganz erheblich war und auch bei schnell veränderlichen Temperaturen die thermische Trägheit des Elementes erhöhte[1]). Die Erhöhung der Lebensdauer war jedoch für den Betrieb stets wichtiger als die starke Annäherung an die wirkliche „Ofentemperatur". Man erreichte aber auch dadurch keine befriedigenden Lösungen. Die zweite Bewehrung war denselben schädlichen Wirkungen unterworfen, wie das äußere Schutzrohr des Thermoelementes. Auch der Versuch, die Elemente nunmehr nur noch ganz wenig oder gar nicht mehr über die Innenwandfläche des Gewölbes heraustreten zu lassen, erwies sich auf die Dauer als unzweckmäßig.

Entgegen allen bisherigen Grundsätzen, das Gerät stets nur senkrecht anzuordnen, ging man mit Erfolg auf die wagerechte Lagerung über, Abb. 8. Zur Vermeidung von Durchbiegungen der bei höheren Temperaturen stets sich erweichen-

[1]) s. a. K. Hencky, Zur Technik der Temperaturmessungen, Z. Bd. 68 (1924) S. 297.

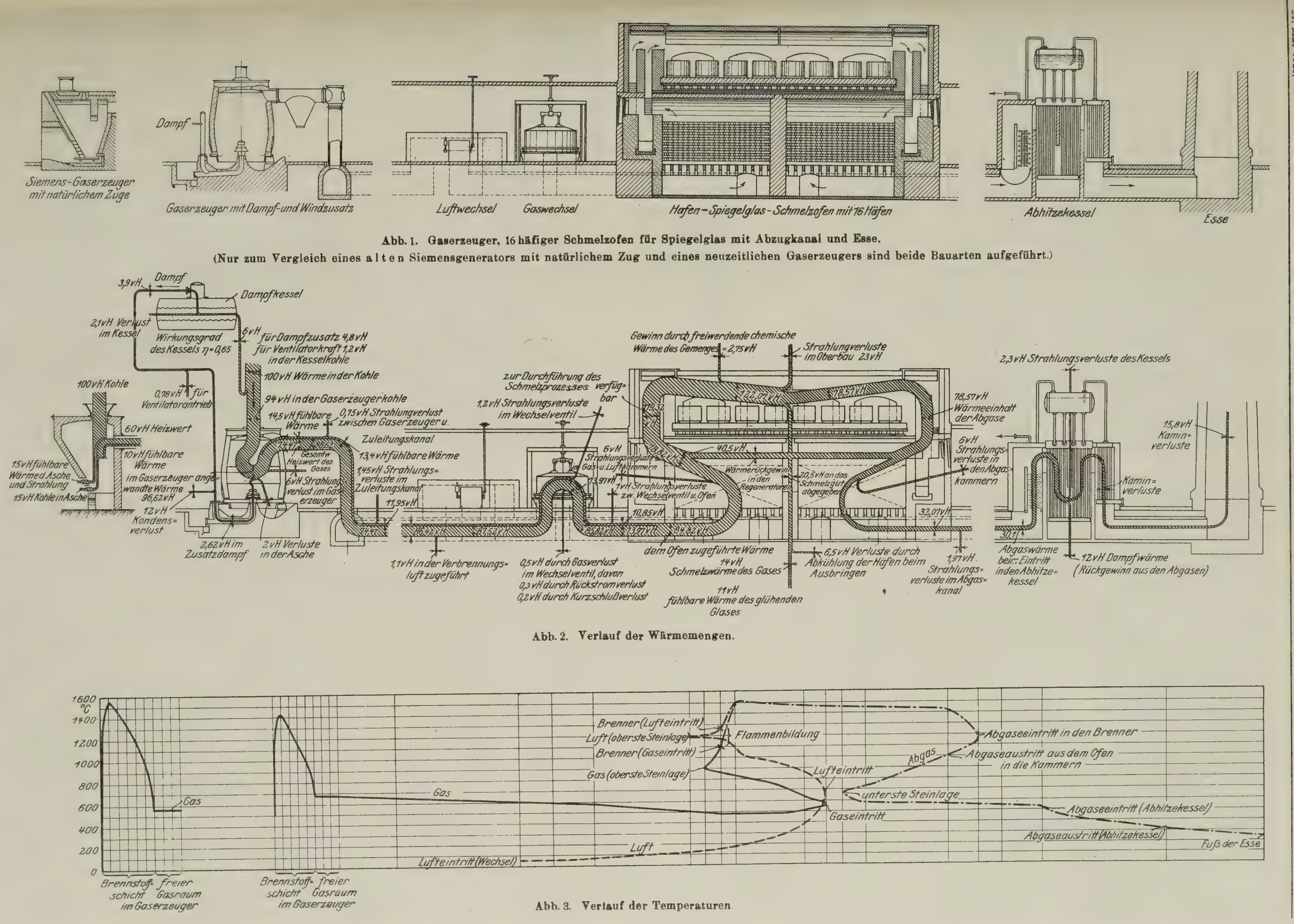


Abb. 1. Gaserzeuger, 16 häfiger Schmelzofen für Spiegelglas mit Abzugkanal und Esse.
(Nur zum Vergleich eines alten Siemensgenerators mit natürlichem Zug und eines neuzeitlichen Gaserzeugers sind beide Bauarten aufgeführt.)

Abb. 2. Verlauf der Wärmemengen.

Abb. 3. Verlauf der Temperaturen.

den Schutzrohre wurde das Gerät der ganzen Länge nach durch einen entsprechend ausgehöhlten feuerfesten Stein unterstützt. Diese Anordnung hatte den Vorteil, daß es möglich war, sich häufig von dem Zustand des Elementes während des Betriebes zu überzeugen und selbst bei einer Beschädigung der Schutzrohre die wertvollen Teile des Elementes zu retten.

Wenn man diese Wandlungen beim Einbau des Thermoelementes nach Abb. 4 bis 8 verfolgt, die hervorgerufen sind durch die Unzulänglichkeit der Materialien, woraus die Schutzrohre hergestellt sind, dann kann man die Anordnung des vorgebauten Strahlungs-Pyrometers als eine weitere Stufe in diesem Entwicklungsgang ansprechen, Abb. 9.

Gesamt-Strahlungspyrometer.

Bei der Anwendung von Gesamt-Strahlungspyrometern, wie sie z. B. als „Ardometer" von Siemens & Halske A.-G. oder als „Pyro" von Dr. R. Hase, Hannover, gebaut werden, ist die Lebensdauer des eigentlichen Meßgerätes im Gegensatz zum Thermoelement dadurch erhöht, daß es außerhalb der Meßstelle aufgestellt werden kann. Man mauert ein Rohr aus feuerfestem Stoff, das denselben Bedingungen unterworfen ist wie das äußere Schutzrohr der Thermoelemente, in die Ofenwand, so daß der geschlossene Boden des Rohres die Temperatur des Ofeninnern annehmen soll. Die von dem glühenden Boden ausgehende Strahlung des sogenannten „Glührohres" wird durch eine Objektivlinse auf ein geschwärztes Platinplättchen geworfen, auf dem sich die Lötstelle des Thermoelementes befindet.

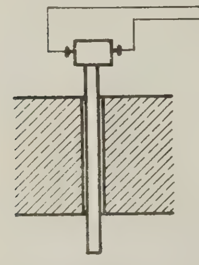


Abb. 4. Senkrecht freihängendes Thermoelement.

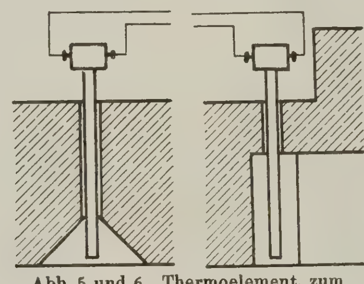


Abb. 5 und 6. Thermoelement, zum Schutz gegen Flammen in Mauernischen eingebaut.

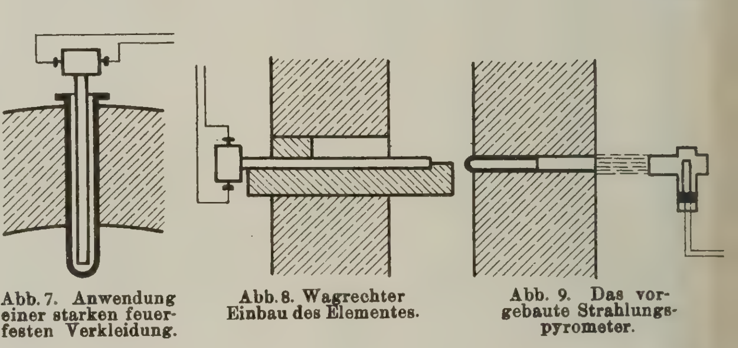


Abb. 7. Anwendung einer starken feuerfesten Verkleidung.

Abb. 8. Wagrechter Einbau des Elementes.

Abb. 9. Das vorgebaute Strahlungspyrometer.

Gesamt-Strahlungspyrometer, insbesondere das Ardometer, sind bereits in einer Anzahl von Glashütten in Verwendung und erfreuen sich wegen ihrer Meßgenauigkeit und einfachen Handhabung einer großen Beliebtheit als Überwachungsgerät für Temperaturen über 1000 °C. Bei Anwendung des Instrumentes zu Dauermessungen treten allerdings noch Schwierigkeiten auf, die zur vorsichtigen Behandlung zwingen und seine weitere technische Durchbildung erfordern.

Zunächst ist es wieder die Haltbarkeit des Glührohres, die zu wünschen übrig läßt. Die Bodenstärke des Rohres ändert sich im Laufe der Einbauzeit, und zwar je nach Lage des Glührohres in einer Verdünnung durch Abbrennen oder Abschmelzen oder auch in einer Verdickung durch Ablagerung und Verkrustung schwer schmelzbarer Gemengebestandteile. Merkliche Veränderungen der Anzeige durch diesen Umstand sind praktisch noch nicht beobachtet worden. Die dem Ofeninnern zugekehrte Seite des Bodens nimmt angenähert die Temperatur der mit ihr im Strahlungsaustausch stehenden Wandflächen an. Die dem Objektiv zugekehrte andere Seite des Bodens ist nur wenig in der Temperatur niedriger, und zwar ist der Unterschied ziemlich unabhängig von den praktisch vorkommenden Wanddicken (10 bis 12 mm) und kaum größer als 5 bis 10 °C. Immerhin wird es sich empfehlen, das Glührohr von Zeit zu Zeit auszubauen und bei stärkeren Veränderungen des Bodens durch ein neues zu ersetzen. Durch Abspringen des Bodens können bei Überdruck im Ofen leicht Stichflammen zu dem freiliegenden Ardometer gelangen und dieses zerstören oder wenigstens seine Meßgenauigkeit herabsetzen. In einem solchen beobachteten Falle wurde das Thermoelement im Ardometer vollkommen zusammengeschmolzen. Eine Verlängerung des Rohres oder Vergrößerung des Abstandes zwischen dem Rohrboden und dem Objektiv ist nur bis zu einer gewissen Grenze möglich, da mit diesem Abstand auch die Weiten vergrößert werden müssen. Um das Ardometer vor den Flammen oder den heißen Gasen, die bei einem Bruch des Glührohres heraustreten können, zu schützen, werden selbsttätige Verschlußvorrichtungen verwendet, Abb. 10. Sie beruhen darauf, daß durch die dann entstehende hohe Temperatur ein vor der Öffnung a gespannter Schmelzdraht d abgeschmolzen wird und der um den Zapfen c sich drehende Verschlußdeckel b vor die Öffnung a fällt.

Störend ist die verhältnismäßig hohe Temperatur, auf die das Gerät durch die Strahlung der äußeren Ofenwand gebracht wird. Die Oberflächentemperatur der letzteren weist meist 200 bis 300 °C auf. Das Gerät wird dadurch oft so heiß, daß man es kaum anfassen kann. Auch die Meßgenauigkeit wird durch die mit der Wärmeausdehnung leicht verbundenen Verzerrungen der Optik schädlich beeinflußt. Empfehlenswert wäre eine Kühlung des Gerätes durch einen ununterbrochenen Luftstrom. Da sich in den meisten Glashütten eine Ventilationsanlage für die Glasmacher auf der Arbeitsbühne befindet, wäre die Ardometer-Kühlung wenigstens während der Arbeitszeit leicht durchführbar.

Nachteilig ist auch der Staub, der in der Umgebung der Schmelzöfen, meist mit Soda und Sulfat untermengt, immer vorhanden ist und sich auf den Linsen des Gerätes niederschlägt. Dadurch wird die Strahlung auf die Lötstelle verringert und die Anzeige gefälscht. Die Linse muß deshalb in kürzeren Abständen mit einem Pinsel vom Staub gereinigt werden. Auch hier wäre es vielleicht möglich, die Verstaubung durch den kühlen Luftstrom zu verhindern.

Absauge-Pyrometer.

Die Angaben der besprochenen Temperatur-Meßgeräte werden beeinflußt durch den Wärmeaustausch mit den Gasen und den Wänden des Raumes, in denen Temperaturverhältnisse untersucht werden sollen. Der Übergang von Wärme zwischen dem Gas- und dem Schutzrohr bzw. Glührohr erfolgt in erster Linie durch Leitung und Konvektion. Ofenwand und Glasspiegel einerseits tauschen mit Schutz- und Glührohr gleichzeitig Wärme durch Strahlung aus. Bei geringer Strömungsgeschwindigkeit der Gase treten Leitung und Konvektion so in den Hintergrund, daß sich die Temperatur der Rohrenden weit mehr der Temperatur der Wand als der Gastemperatur nähert. Es ist also nicht möglich, mit diesen Mitteln die wahre Gastemperatur zu messen. Die Abweichungen zwischen der Anzeige des Meßgeräts und der Gastemperatur sind insbesondere dort erheblich, wo zwischen Wand- und Gastemperatur an sich schon große Unterschiede bestehen, wie z. B. in den Kammern der Wärmespeicher und in den Brennern der Schmelzöfen. Die Wände können dort den plötzlichen Temperatursprüngen des durchströmenden Mediums beim Umsteuern infolge ihrer Wärmekapazität nur träge und unvollkommen folgen. Während der Gas- und -Luft-Zeit sind daher die Wandtemperaturen niedriger als die der Gase. Während der Abgas-Zeit ist umgekehrt die Wandtemperatur höher als die Abgastemperatur. Die Messung mit Thermoelementen oder Ardometer in der gebräuchlichen Anordnung ergibt daher für Luft- und Frischgas zu hohe, für Abgas zu geringe Werte. Dieser Umstand war wohl seit langem bekannt, doch wurde seine zahlenmäßige Bedeutung erst durch Untersuchungen aus letzter Zeit geklärt, die ergaben, daß die auf diese Weise begangenen Meßfehler weit größer sind als man bisher vermutet hatte. So wurde z. B. rechnerisch nachgewiesen, daß diese Fehler bei Messungen in den Brennerschächten durchweg über 100 °C liegen und bis auf mehrere 100° ansteigen können. Dadurch werden auch natürlich die auf solchen Messungen beruhenden Wärmebilanzen unmöglich.

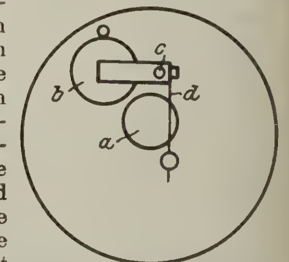


Abb. 10. Selbsttätige Verschlußvorrichtung für ein Ardometer.

Der Fehler wird um so kleiner, je besser der Wärmeaustausch zwischen dem Gerät und den Gasen ist. Da der Wärme-

übergang durch Leitung und Konvektion in hohem Maße von der Strömungsgeschwindigkeit der Gase abhängt, so kann durch deren Steigerung der Fehler verringert, ja praktisch schließlich zum Verschwinden gebracht werden. Diesem Zweck dienen die Absauge-Pyrometer. Durch das Rohr, Abb. 11, in dem sich das Thermoelement frei oder durch ein Schmelzrohr geschützt befindet, werden die heißen Gase mit Hilfe einer Strahlpumpe mit großer Geschwindigkeit durchgesaugt. Der Wärmeaustausch mit der Umgebung wird durch Schutzrohre von starker Isolationsfähigkeit möglichst herabgesetzt. Durch dieses Mittel nimmt die Lötstelle des Thermoelementes die Temperatur des Gases mit sehr großer Annäherung an. Die Durchsaugegeschwindigkeit wird so lange gesteigert, bis die Anzeigen des Absauge-Pyrometers konstant sind.

Absauge-Pyrometer werden bis jetzt nur als Versuchsgerät in Einzelfällen verwendet. Für betriebstechnische Messungen sind sie bis jetzt noch nicht brauchbar ausgebildet worden.

Druck- und Zugmessungen.

Die Druckmessungen an einer Ofenanlage haben einen mehrfachen Zweck. Es können festgestellt werden:

1. die absolute Druckhöhe in der Strömungsrichtung der verschiedenen Medien (Gas, Luft und Abgas),
2. der Druckverlauf an einzelnen Meßstellen, um zeitlich entweder die gewünschte Gleichmäßigkeit oder beabsichtigte Veränderung zu erkennen,
3. die Strömungswiderstände zwischen örtlich getrennten Meßstellen,
4. die Geschwindigkeit und Menge der strömenden Medien.

Zum Messen des Gasdruckes wird in Glashütten meistens das U-Rohr aus Glas mit einer gefärbten Flüssigkeit als Füllung benutzt. Für die verhältnismäßig geringen Drücke im Bereiche von + 10 bis — 30 mm W.-S. ist die in vielen Fällen erforderliche Ablesegenauigkeit hierbei zu gering. Selbst die an Stelle der senkrechten Schenkel verwendeten geneigten Rohre (Mikromanometer) genügen nicht für genaue Messungen.

Abb. 11. Absauge-Pyrometer.

Als aufschreibendes Gerät ist in vielen Glashütten der auf dem Grundsatz der Tauchglocke beruhende Apparat in Verwendung. Diese schwimmt in einem Wasserbehälter, ihr Innenraum steht mit dem Gaskanal in Verbindung. Je nach der Druckhöhe taucht die Glocke mehr oder weniger tief ein. Diese Bewegung wird durch ein Schreibwerk auf einen trommelförmig umlaufenden Meßstreifen übertragen und aufgezeichnet. Die Verschmutzung der Schreibflüssigkeit und die Gefahr des Einfrierens der mit Wasser gefüllten Geräte sind untergeordnete Unannehmlichkeiten, mit denen der Betrieb zu rechnen hat. In den meisten Fällen legen die Hütten der Aufzeichnung der Druckhöhen geringeren Wert bei als den gleichzeitig in den Diagrammstreifen zu erkennenden Wechselzeiten bei Reneratįv-Gasöfen, sofern der Apparat in der Nähe des Wechselventiles Aufstellung findet.

In neuerer Zeit sind auch Druckmesser eingeführt worden, deren Arbeitsweise auf der Bewegung einer Metallmembran beruhen, die sich unter dem Gasdruck durchbiegt. Die äußerst feinmechanisch und genau hergestellten Apparate sind völlig staubdicht in einem kräftigen Metallgehäuse untergebracht. Temperaturschwankungen haben fast gar keinen Einfluß. Man kann die Geräte einerseits in nächster Nähe der Öfen aufhängen, anderseits auch in kalten Räumen. Der kleinstmögliche Meßbereich für Messer dieser Art beträgt etwa 10 mm W.-S., für Schreiber etwa 25 mm W.-S. Druckunterschiede lassen sich noch von etwa 1/20 mm W.-S. einwandfrei messen.

Beim Anschluß der aufschreibenden Geräte für Druckmessungen an die Kanäle mit ungereinigtem Generatorgas ist ein besonderes Augenmerk auf die Leitungen zu legen, welche den Gaskanal und das Gerät verbinden. Das Gasentnahmerohr soll stets im Scheitel des Gaskanals angeordnet werden und durch eingefügte Deckel die Möglichkeit bieten zum gelegentlichen Reinigen, Abb. 12. Bei zu geringem Durchmesser der Leitungen verstopfen sich diese leicht mit Teer, Staub oder Ruß aus dem ungereinigten Gase und beeinflussen dadurch die Angaben des Gerätes.

Gasdruckregler.

Durchweg wurde durch Druckmessungen festgestellt, daß in den Gasleitungen zu den Öfen der Druck stark schwankte. Das fortgesetzte Wechseln der Durchgangswiderstände in den Gaserzeugern, sei es durch verschiedene Körnung des eingeführten Brennstoffes, Verschlackung, Eingriffe durch die Bedienung u. a. m., bringt es mit sich, daß auch in der Gaszufuhr entsprechende Schwankungen auftreten. Damit ändert sich natürlich auch die Gasbelieferung der Öfen, und ungleichmäßiger Gang ist die notwendige Folge. Dieser Übelstand läßt sich beseitigen, indem man für eine empfindliche, schnell wirkende Gasdruckregelung in den Gaszuleitungen sorgt.

Eine Druckregelung mit der Hand, die von der Geschicklichkeit und Zuverlässigkeit des bedienenden Arbeiters abhängt, wird stets sehr unvollkommen und roh ausfallen. Neuerdings ist man daher zu den Selbstreglern übergegangen, deren Zweck ist, bei kleinen auftretenden Druckunterschieden selbsttätig und schnell einzugreifen.

In der Eisenhüttenindustrie sind bereits zahlreiche Regler im Gebrauch, von denen als recht gute und bewährte Konstruktionen die Ausführungen von Jos. Heinz Reinecke, Bochum, und der Allgemeinen Vergasungs-Gesellschaft m. b. H., Berlin-Halensee, bekannt sind. In Glashütten liegen große Erfahrungen über Regleranlagen für ungereinigtes Generatorgas noch nicht vor. Die unmittelbare Gasdruckregelung dürfte bei den Gaskanälen von meist rechteckigem Querschnitt und den staub- und teerhaltigen Gasen einige Schwierigkeiten bereiten. Dagegen ist es ohne weiteres geglückt, den Gasdruck mittelbar seelbsttätig zu beeinflussen im Hauptsammelkanal, an den sämtliche Generatoren angeschlossen sind, oder im daran anschließenden Zuleitungskanal durch Regelung der Windzufuhr zu den Generatoren. Der Strahlrohrregler der Askania-Werke A.-G., Bambergwerk, Berlin-Friedenau, Abb. 13, ermöglicht eine so feine Druckregelung, daß die maximalen Druckschwankungen 1/10 mm W.-S. nicht überschreiten.

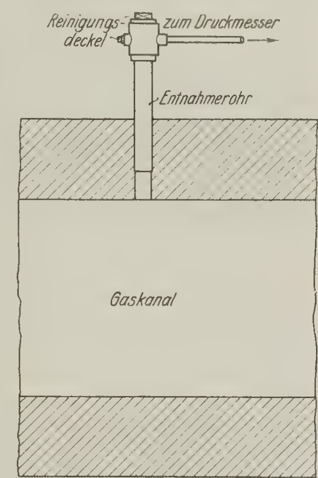


Abb. 12. Anschluß vom Gaskanal zum Druckmesser.

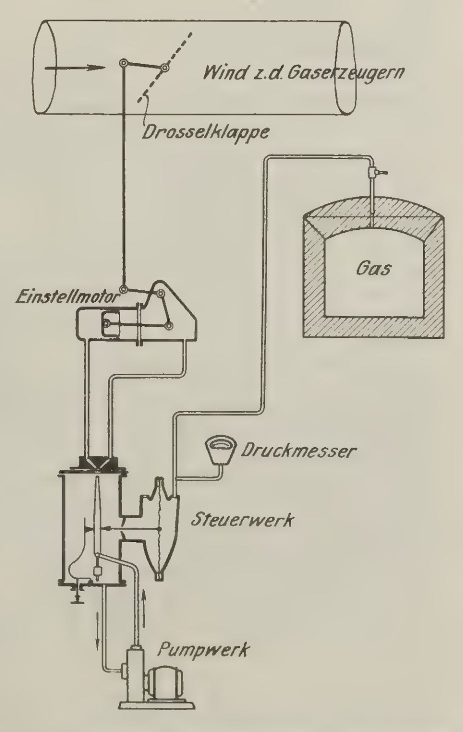


Abb. 13. Strahlrohrregleranlage zur Konstanthaltung des Gasdruckes.

Eine Reihe von Firmen baut heute schon Vorrichtungen,

welche die selbsttätige Regelung des Luft-Dampfgemisches für den Generatorenbetrieb, die selbsttätige Einstellung eines unveränderlichen günstigsten Gas-Luft-Gemisches für die Verbrennung sichern. Eine zu weitgetriebene Selbsttätigkeit des Betriebes dürfte jedoch bei dem heutigen Stande der Feuerungstechnik in Glashütten noch nicht angebracht sein.

Gasuntersuchungen.

Für die technische Analyse von Frisch- und Abgasen kommt entweder die Bunte-Bürette oder der Orsat-Apparat in Betracht. Die Bedienung und Instandhaltung der Vorrichtungen sowie die Auswertung der Ergebnisse erfordern große Sachkenntnis. Jede mündliche Beratung und der Hinweis auf aufklärende Fachliteratur hat in jenen Hütten keinen Erfolg gebracht, in denen sich das Personal die Handfertigkeiten nicht durch fortgesetzte Übung erwarb. Eine Orsat-Analyse experimentell vollständig genau auszuführen ist sehr schwer. Der Nachweis, ob die gefundenen Werte im richtigen Verhältnis zueinander stehen, kann durch Nachrechnung an Hand der Brennstoffanalyse erbracht werden.

Auf die häufige Erneuerung der Absorptionsflüssigkeiten, insbesondere der zur Absorption von Kohlenoxyd (CO) verwendeten Kupferchlorürlösung und der Pyrogallussäure für Sauerstoff (O) kann nur immer wieder hingewiesen werden. Die Nichtbeachtung dieser Vorschriften verführt selbst den gewissenhaftesten Analytiker zur Selbsttäuschung.

Unter den brennbaren Bestandteilen im Generatorgas bereitete außer Kohlenoxyd (CO) die genaue Feststellung der Kohlenwasserstoffe Schwierigkeiten, die sich in die sogenannten „schweren Kohlenwasserstoffe" und die Kohlenwasserstoffe der Methanreihe gliedern. Es würde zu weit führen, wenn sich der

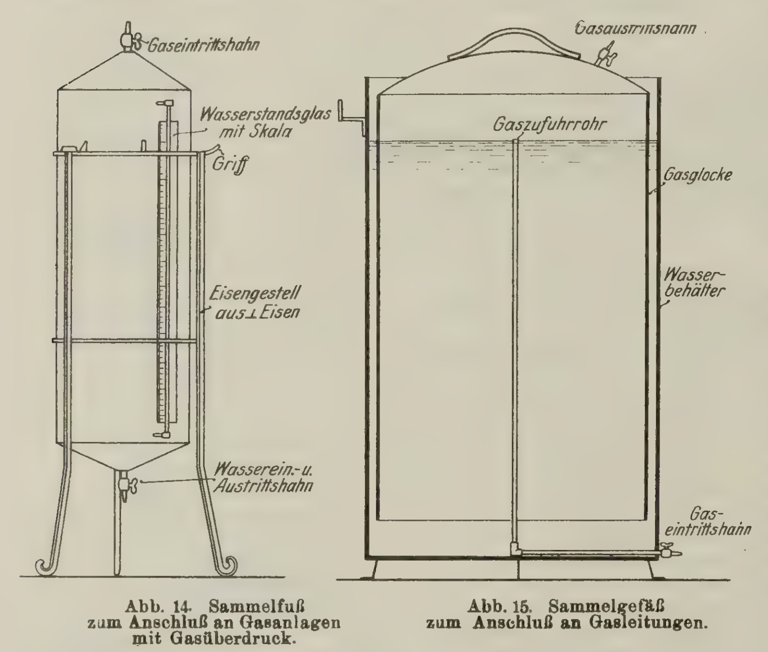


Abb. 14. Sammelfuß zum Anschluß an Gasanlagen mit Gasüberdruck.

Abb. 15. Sammelgefäß zum Anschluß an Gasleitungen.

Betriebsmann allzusehr auf dieses Sondergebiet des Gasanalytikers begeben wollte. Dieser geht darauf aus, auch die in dampfförmigem Zustand in den Gasen enthaltenen sogenannten „ringförmigen Kohlenwasserstoffe" (Benzol, Toluol, Xylol usw.) zu erfassen[1]).

Wichtig ist vor allen Dingen im Betriebe die Entnahme einer guten Sammelprobe. Durch Absaugen von geringen Mengen in der Zeiteinheit auf ganze Schichten oder Tage verteilt, erhält man mittels tragbarer Aspiratoren, Abb. 14 und 15, gute Durchschnittswerte.

Die Ausnutzung der Frischgasanalyse zur Bestimmung des Heizwertes kommt nur in zweiter Linie in Betracht. Wichtiger ist vielmehr das Verständnis für das Mengenverhältnis der einzelnen Bestandteile des Gases. Das Bestreben jedes Hütteningenieurs sollte dahin führen, aus der Analyse zu lesen:

1) wie das Gas entstanden ist,
2) welche Veränderungen es auf dem Wege vom Gaserzeuger zum Brennen erlitten und
3) welchen Einfluß die Gaszusammensetzung auf die Verbrennung voraussichtlich haben wird.

Nur auf dieser Grundlage können bestimmte Anordnungen für die Betriebführung der Öfen fußen.

Selbsttätige Gasprüfer.

Zur Erleichterung der Betriebsüberwachung ist man zum Einbau der selbsttätigen Gasprüfer übergegangen. Der störende Fehler in der Gaszusammensetzung besteht in zu hohem Gehalt an Kohlensäure (CO_2) und dementsprechend zu geringem Gehalt an Kohlenoxyd (CO) im Frischgas. Umgekehrt wird für die Zusammensetzung der Abgase bei wirtschaftlicher Verbrennung ein hoher Gehalt an Kohlensäure und ein um so geringerer Gehalt an brennbaren Bestandteilen angestrebt.

Im Gegensatz zu den gebräuchlichsten Anschauungen sollte man daher beim Frischgas besonderen Wert auf die Feststellung des Gehaltes an Kohlensäure, hingegen beim Abgas auf die Bestimmung der unverbrannten Bestandteile legen. Darauf wäre bei der Auswahl der Apparate zu achten.

Die bekannten selbsttätigen Rauchgasprüfer, auch Kohlensäureschreiber genannt (Ados, Debro, Mono, Aci u. a.), beruhen mit wenig Ausnahmen auf dem Grundsatz, daß die Kohlensäure durch eine chemische Reaktion mit Kalilauge, Natronkalk oder dergleichen entfernt und die Volumen- bzw. Druckverminderung einer gemessenen Gasmenge aufgezeichnet wird. Sie erfordern wegen der mehr oder minder häufigen Erneuerung der Absorptionsflüssigkeit eine sorgfältige Beobachtung. Eine besondere Ausbildung hat der Duplex-Mono erfahren, indem er außer der Kohlensäure auch gleichzeitig Kohlenoxyd angibt.

Auf einem andern Grundsatz beruht der elektrische Gasprüfer von Siemens & Halske A.-G. Die Kohlensäure hat eine geringere Wärmeleitfähigkeit als die übrigen Bestandteile der Abgase, so daß beim Durchleiten durch eine Röhre die Temperatur eines darin gespannten Drahtes um so mehr steigt, je größer der Kohlensäuregehalt ist. Die mit der Temperaturerhöhung verbundene Änderung des elektrischen Widerstandes des Drahtes wird zur Anzeige des Kohlensäuregehaltes benutzt. Auch dieser Apparat kann mit einer Zusatzvorrichtung zur Anzeige von brennbaren Bestandteilen im Abgas ausgerüstet werden. Diese werden verbrannt und die mit der Temperaturerhöhung des Drahtes verbundene Erhöhung des elektrischen Widerstandes zur Anzeige der verbrannten Gasteile benutzt.

Der Ranarex-Rauchgasprüfer der AEG beruht darauf, daß die Dichte der Kohlensäure größer ist als die Dichte der Luft. Die Meßkraft wird mittels motorischer Energie vervielfacht. Zur Anzeige des Kohlensäuregehaltes im Generatorgas ist der Ranarex nicht geeignet, da der Wasserstoffgehalt des Gases den Einfluß der Kohlensäure auf die Dichte mehr oder minder ausgleicht.

Auch der Gasprüfer der Union-Apparatebau-Gesellschaft beruht auf einem physikalischen Grundsatz, nämlich auf der Wechselwirkung zwischen Dichte und Zähigkeit. Kohlensäure strömt durch eine Kapillare leichter als Luft, hingegen durch eine Düse schwerer. Die in einem einerseits durch eine Kapillare, anderseits durch eine Düse abgeschlossenen Raum entstehenden Druckänderungen werden als Maß für den Kohlensäuregehalt benutzt.

Die vorstehenden Erfahrungen aus Glashütten sind durch die „Wärmetechnische Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie", Frankfurt a. M., gesammelt worden. Von der Erwähnung von Zahlenwerten ist durchweg abgesehen worden, da dies in den zahlreichen Veröffentlichungen und Einzelberichten dieser Stelle geschieht. Trotz der einzelnen Meßverfahren und -geräten anhaftenden Unvollkommenheiten steht ihr Wert für die Wärmewirtschaft der Hütten außer Zweifel. [A 374]

[1]) s. a. Thau, Die Bestimmung der nicht absorbierbaren Gasbestandteile, „Glückauf" Bd. 59 (1923) Nr. 46 u. 47.

RUNDSCHAU.

Die deutsche Glasindustrie und das Ausland.

Die Gegensätze, die zwischen der amerikanischen und der deutschen Glasindustrie vor dem Krieg in technischer Beziehung bestanden, lassen sich etwa dahin zusammenfassen, daß in Amerika die Behandlung des Glasstoffes durch den Maschineningenieur, in Deutschland die Glas-Erzeugung und -Verarbeitung durch den Chemiker und Physiker in den Vordergrund trat. Dort überholte man die Geschicklichkeit des Facharbeiters und hielt es für unsozial und rückständig, Menschen in großer Zahl berufsmäßig vor dem glühenden Ofen mit der feurig-flüssigen Masse sich abmühen zu lassen. Durch bewundernswerte Maschinen gelang es, die bisher erlernten Fertigkeiten zur Herstellung von Flaschen, Tafelglas, Glühlampenkolben, Glasröhren u. a. zu ersetzen. In Deutschland dagegen lag die Stärke der industriellen Glastechnik in der chemisch-physikalischen Erforschung bzw. Verfeinerung der Glasmasse. Namen wie Michael J. Owens einerseits und Otto Schott gemeinsam mit Ernst Abbe anderseits zeichneten die Führerschaft dieser beiden Richtungen nach außen hin aus.

Die durch den Krieg hervorgerufene langjährige Absperrung beider Länder hat den Beweis erbracht, daß eine einseitige Pflege von besonderen Veranlagungen in einem oder dem andern Sondergebiet stets als eine Unvollkommenheit zu betrachten ist. Die amerikanische Glasindustrie legte ihren bekannten Forschungsinstituten, dem Geophysical Laboratory und dem Bureau of Standards, während des Krieges bereits als Pflicht zur Erhaltung der Wettbewerbfähigkeit auf, ihre wissenschaftlichen Arbeiten und Erziehungsmaßnahmen gegenüber dem Nachwuchs so einzustellen, daß die bestehende Lücke an fehlenden Glaschemikern und -physikern baldigst ausgefüllt würde. Nur derjenige, welcher die Veröffentlichungen aus dem Gebiete der Glastechnik dieser beiden Institute in den letzten Jahren mit Sachkenntnis verfolgte, kann sich ein Urteil über den Stand der Leistungen in Amerika erlauben. Aber nicht nur die Vielseitigkeit der Sonderarbeiten, sondern vor allem die Anteilnahme der Industrie dort wird uns dabei angenehm auffallen müssen, die trotz voller Inanspruchnahme durch anderweitige Tätigkeit Zeit und Mittel fand, diese Arbeiten zu unterstützen. Man gründete als Unterabteilung der bekannten Amerikanischen Keramischen Gesellschaft die Glass-Division.

In Deutschland hat man bisher nur gleichgültig von dieser Regsamkeit jenseits des Ozeans Kenntnis genommen. Man hielt es besonders in den Reihen der kleineren Industriellen für unmöglich, vom Ausland überflügelt zu werden, das bisher immer auf Deutschland zurückgegriffen hatte, wenn es galt, Qualitätsarbeit zu verlangen. 75 vH der deutschen Glaserzeugung wurden vor dem Krieg ausgeführt. 1913 betrug der Wert der ausgeführten Mengen rd. 123 Millionen ℳ. Um diesen für unsere Handelsbilanz wichtigen Betrag wieder zu erreichen, wird es nötig sein, die deutschen Glashütten in diesem Wettstreit um den Fortschritt in der Technik auf der Höhe zu halten. Dieses auf die Erhaltung und den Schutz der deutschen Glastechnik gerichtete Ziel hat u. a. auch zur Gründung der

Deutschen Glastechnischen Gesellschaft

geführt. Sie ist erstmalig am 23. Mai d. J. im VDI-Haus zu einer „Glastechnischen Tagung" zusammengetreten, um die Grundlagen für ihre zukünftige Arbeitsweise zu schaffen. Im Zusammenhang mit dieser Tagung ist im Anschluß an Heft 21 des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift das vorliegende Fachheft „Glastechnik" herausgegeben worden.

Die praktische Arbeit der neuen Gesellschaft soll durch Fachausschüsse geleistet werden. Als solche werden vorläufig genannt die Ausschüsse für: Physik und Chemie der Rohstoffe und des Glases, für Wärmewirtschaft, feuerfeste Baustoffe und Ofenbau und für Verarbeitung des Glases von Hand und mit der Maschine. [M 381]

Über Hafenauflösung.

Ein Werkstoff, welcher der chemischen Einwirkung des Glasschmelzflusses bei dessen hohen Temperaturen widersteht, ist bisher noch nicht gefunden worden. Im allgemeinen ist man auch heute noch auf die Verwendung feuerfester Tone zur Herstellung von Häfen und Wannenblöcken angewiesen, da andere Stoffe, wie geschmolzene Tonerde, Sillimanit usw. für die Technik aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht in Frage kommen. Alle Bestrebungen müssen daher zunächst darauf gerichtet sein, aus dem der Technik zugänglichen Werkstoff, dem feuerfesten Ton, alles herauszuholen, was herauszuholen ist. Beseitigen läßt sich die Hafenauflösung nicht, wohl aber auf ein Mindestmaß einschränken.

Die Anforderungen, die an das Material zur Herstellung von Schmelzgefäßen für die Glasindustrie gestellt werden, sind je nach der Durchführung des Schmelzvorganges verschieden. Während beim älteren Verfahren, nämlich beim Schmelzen in Häfen, ein mehr oder minder großer Teil der Schmelzwärme durch die Hafenwand auf das Schmelzgemenge übertragen werden muß, liegen die Verhältnisse beim Schmelzen im Wannenofen gerade umgekehrt: Die Wärmeübertragung geht in diesem Falle durch unmittelbare Einwirkung der Flamme bezw. der von ihr ausgehenden Wärmestrahlung auf das Schmelzgemenge vor sich. Im ersten Falle soll das feuerfeste Material hohe, im zweiten Falle dagegen möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Zweifellos wird das Hafenmaterial in vieler Hinsicht stärker beansprucht als das Wannenmaterial. Bei der Wanne sind nämlich, vom Schmelzflußspiegelrand abgesehen, die den Wandungen benachbarten Glasschichten erheblich kälter als die übrigen Teile der Schmelze, so daß Wannenblöcke, sowohl hinsichtlich ihrer Feuerfestigkeit, als auch hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die Auflösung durch den Glasschmelzfluß weniger beansprucht werden als Häfen. Daher kann das, was über Hafenauflösung im folgenden ausgeführt werden soll, ohne Bedenken auch auf Wannenblöcke übertragen werden.

Chemisch-physikalische Vorgänge bei der Hafenauflösung.

Das schmelzende und geschmolzene Glas wirkt in der Weise auf den Hafenbaustoff ein, daß die reaktionsfähigen Bestandteile des Schmelzgemenges mit den Komponenten des meist recht verwickelt zusammengesetzten Hafentones in Reaktion treten. Die Reaktionserzeugnisse reichern sich an der Berührungsfläche der Schmelze und der Hafenwand in Form einer zähen, nach dem Erkalten weißen Schicht von glasähnlicher Beschaffenheit an. Amerikanische Forscher konnten in dieser Übergangsschicht Sillimanit- und Korundkristalle nachweisen. Vermöge des Gehaltes an dem im Schmelzfluß schwer löslichen Sillimanit und Korund übt diese Übergangsschicht eine schützende Wirkung auf das Hafenmaterial aus, wodurch der weitere Angriff des Hafens außerordentlich verlangsamt wird, sofern die Schicht nicht durch Konvektionsströmungen von der Wand entfernt wird und dann im Glas wegen ihrer Schwerlöslichkeit zur Bildung von Winden (Schlieren) und Streifen führt. Beim Wannenbetrieb ist durch die stetige Bewegung der geschmolzenen Masse besonders in dem heißgehenden Teile der Wanne ein Fortschwemmen der Sillimanit-Schutzschicht sehr leicht möglich, aber auch beim Schmelzen im Hafen treten infolge der Unterschiede im spezifischen Gewicht des Schmelzflusses und der Übergangsschicht nachteilige Konvektionsströmungen auf. Diese führen je nach ihrer Richtung zu besonders starkem Angriff am Boden des Hafens oder am Schmelzflußspiegelrand, je nachdem, ob die fortströmende Übergangsschicht durch fortlaufende Hafenauflösung am Boden des Hafens oder am Schmelzflußspiegelrand ergänzt wird, während die übrigen Teile des Hafens durch die strömende Übergangsschicht geschützt bleiben. Daß für diese Strömungsvorgänge die Viskosität der Schmelze und damit auch die Schmelztemperatur von besonderer Bedeutung ist, liegt auf der Hand.

Da sich größere Mengen von schwerlöslichem Sillimanit in der Übergangsschicht erst bei höhern Temperaturen bilden können, wird die Hafenauflösung während des Einschmelzens einen ganz andern Charakter zeigen als diejenige nach beendetem Einschmelzen. Im ersten Schmelzabschnitt wird die Hafenauflösung wegen der Abwesenheit der schützenden Sillimanitschicht sehr heftig verlaufen, zumal die durch die Glassäuren noch nicht gebundenen basischen Bestandteile des Schmelzgemenges schon bei Temperaturen von 800 bis 900 ° C mit dem Hafenmaterial in lebhafte Reaktion treten. Möglichst schnelles Durchschreiten dieses für den Hafen besonders gefährlichen Temperaturabschnittes des Einschmelzvorganges, sorgfältige Verglasung des Hafens vor dem Einlegen des Gemenges, gute Durchmischung des Schmelzgemenges selbst, erscheinen somit geboten.

Hafenauflösung und Hafenstruktur.

Außer den bisher genannten, für die Hafenauflösung wichtigen Umständen (pyrochemisches Verhalten des Tones, Zusammensetzung des Glasschmelzgemenges, Konvektionsströmungen in der Schmelze und Einschmelzdauer) ist die Vorbehandlung des Hafens von der Hafenstube an bis zum Einlegen des Gemenges von größter Wichtigkeit insofern, als die Struktur des Hafens von der Art der Vorbehandlung sehr wesentlich abhängt. Nur durch sorgfältigste Behandlung der Hafenmasse in der Hafenstube kann der innige Zusammenhang zwischen dem Bindeton und dem Magerungsmittel, der für die Standfestigkeit des Hafens im Feuer und ein gleichmäßiges Fortschreiten der Hafenauflösung unbedingt erforderlich ist, erreicht werden. Das Trocknen, das Tempern und Vorbrennen des Hafens muß so geleitet werden, daß trotz der erheblichen, im Hafengefüge auftretenden Schwindungsbewegungen dieser innige Zusammenhang gewahrt bleibt. Jede unsachgemäße Behandlung des Hafens führt unweigerlich zur Auflockerung des Gefüges. Starker, ungleichmäßiger Hafenangriff und Hafensteine im Schmelzfluß treten als Folgeerscheinungen dieser Auflockerung des Gefüges auf.

Die äußerst gefährlichen örtlichen Hafenangriffs-Erscheinungen, die durch die im Hafenmaterial auftretenden Pyritnester hervorgerufen werden können und die namentlich bei bleihaltigen Gläsern zu kanalartigen Durchbohrungen der Hafenwand führen können, sind allgemein bekannt.

Aber selbst bei vollkommen sachgemäßer Herstellung und Behandlung des Hafens kann ungleichmäßige Hafenauflösung und Hafensteinbildung eintreten, wenn der Bindeton nicht die gleiche Widerstandsfähigkeit gegen Auflösung im Schmelzfluß aufweist wie das Magerungsmittel, das dem Bindeton stets um einen Brand voraus ist. Besonders schwierig ist die Wahl eines geeigneten Bindetones oder Bindetongemenges bei der Verwendung von hochwertigen Schiefertonen als Magerungsmittel.

Ziemlich ungeklärt ist noch der Einfluß der Porösität des Hafens, die von der Vorbrenntemperatur und der Vorbrenndauer abhängt, auf den Ablauf der Hafenauflösung.

Zu weit getriebenes Sintern des Hafens ist nicht zu empfehlen, da wegen der großen Empfindlichkeit des verglasten Scherbens gegenüber Temperaturwechseln beim „Abschrecken" des Hafens durch das Einlegen des kalten Gemenges die Hafenoberfläche an den betroffenen Stellen von

unzähligen feinen Rissen durchzogen wird, die der Hafenauflösung starken Vorschub leisten und sogar zur Abtrennung größerer Stücke aus der Hafenwand führen können. (Die Sinterung ist ja schließlich nichts weiter als eine beginnende Auflösung des Hafenmaterials im eigenen, durch die Einwirkung der im Hafenton stets vorhandenen Flußmittel auf die freie Kieselsäure und die Tonsubstanz gebildeten Glas. Der erste Schritt zur Hafenauflösung ist durch das zu weit getriebene Sintern schon im Hafenmaterial selbst getan.)

Zu große Porösität dagegen vergrößert die Angriffsfläche außerordentlich und ruft ebenfalls schnelle Hafenauflösung hervor. Zwischen den beiden äußersten Fällen muß eine brauchbare Hafenstruktur liegen, welche die beiden für eine langsame Hafenauflösung gegebenen Bedingungen, nämlich genügende Empfindlichkeit gegenüber Temperaturwechseln und kleinste Angriffsfläche, erfüllt. Der Scherben soll also möglichst dicht, aber nicht verglast sein, eine Forderung, die durch Anwendung des Gießverfahrens zur Herstellung der Häfen und Wannenblöcke am ehesten zu erfüllen sein wird. Diese günstigste Hafenstruktur wird im einzelnen sowohl durch den Charakter des verwendeten Hafentones als auch durch die Zusammensetzung des Glasschmelzflusses bedingt. Allgemein gültige Vorschriften für Hafenmassen und Hafenbehandlung können daher nicht gegeben werden. Jedes Glas wird zur Erreichung einer möglichst geringen Hafenauflösung eine besonders geeignete Hafenmasse und eine charakteristische Behandlung des Hafens beim Tempern und Vorbrennen erfordern. [M 334]

Berlin-Zehlendorf. Dr.-Ing. Otto Bartsch.

Wärmetechnisches vom Gußglas-Kühlofen.

Die Aufgabe des Kühlofens besteht darin, den Vorgang der Abkühlung der gegossenen Glasplatten so zu verzögern, daß das Springen und das Auftreten bleibender Spannungen im Glas vermieden werden. Selbstverständlich soll diese Verzögerung nicht über das unbedingt notwendige Maß hinausgehen. Für die Aufgabe, die Kühldauer möglichst zu verringern, ist die Kenntnis der „kritischen Temperaturen" erforderlich. Oberhalb der oberen kritischen Temperatur gleichen sich entstehende Spannungen leicht aus; unterhalb der unteren kritischen Temperatur bilden sich bleibende Spannungen überhaupt nicht mehr. Innerhalb dieser beiden Grenzen muß die Abkühlung besonders langsam und vorsichtig erfolgen, während sie außerhalb dieser Grenzen wesentlich beschleunigt werden kann. Die Forderung eines gleichmäßigen Temperaturabfalls im Kühlofen, der vielfach große Wichtigkeit beigelegt wird, ist also nicht berechtigt.

Wichtig für die Erzeugung spannungfreien Glases ist eine gleichmäßige Verteilung der Wärme in den einzelnen Teilen des Ofens, damit auch die Temperatur über die ganze Ausdehnung der zu kühlenden Platte gleichmäßig gehalten wird. Diese Bedingung ist für die Anordnung der Brenner und für die Flammenführung maßgebend.

Beobachtung und Durchforschung des Kühlvorganges haben sich bis jetzt meist auf die angedeuteten physikalisch-technologischen und ofenbautechnischen Verhältnisse erstreckt, während der Wärmewirtschaft des Kühlofens nur wenig Beachtung geschenkt wurde. Dadurch ist der hohe Brennstoffverbrauch der Kühlöfen bedingt, der insbesondere in der Gußglasindustrie auffällig in Erscheinung tritt. Der Übergang von den einzelnen Kühlkammeröfen (Carcaissen) zu dem von Amerika übernommenen kontinuierlichen Kühlofen (Stracou) ist zum Teil durchgeführt worden, und zwar hauptsächlich zur Ersparnis von Raum und zur Vereinfachung und Verbilligung der Bedienung. Die damit verbundenen wesentlichen Ersparnisse an Brennstoff (der Brennstoffverbrauch der Carcaissen betrug 25 bis 35 kg Steinkohle auf 1 m² Rohglas) waren wohl sehr willkommen, doch wurde für die wärmetechnische Weiterentwicklung des Stracous so gut wie gar nichts getan. Auch von der wärmetechnischen Forschungsarbeit ist der Kühlofen bis jetzt durchaus vernachlässigt worden, vor allem deshalb, weil ihr bisher keine Gelegenheit zum Studium dieser Verhältnisse geboten war. Erst in letzter Zeit beginnt man, nach den Gaserzeugern und den Schmelzöfen, auch den Kühlöfen ein Augenmerk zuzuwenden. Eingehendere und allgemein gültige Feststellungen liegen noch nicht vor, so daß in den folgenden Ausführungen die wärmetechnischen Verhältnisse des Gußglas-Kühlofens nur auf Grund vereinzelter Beobachtungen behandelt und die allgemeinen wärmetechnischen Fragen des Kühlofens gestreift werden können.

Der Stracou besteht aus fünf zusammenhängenden Kammern und einem anschließenden Kühlkanal, durch den das Glas langsam befördert wird, derart, daß es alle paar Minuten um eine Plattenbreite vorgeschoben wird, um der folgenden Platte Platz zu machen. Abb. 1 und 2 zeigen schematisch die Anordnung eines Stracous. Im Beharrungszustand des Ofens herrscht an jeder Stelle eine angenähert unveränderliche Temperatur.

Zwischen Schmelzofen und Kühlofen besteht ein grundsätzlicher Unterschied. Die Bildung des Glasflusses ist ein chemischer Vorgang, zu dessen Durchführung Wärme verbraucht wird; die Stoffe, aus welchen das Glas erzeugt wird, werden mit niedriger Temperatur eingeführt, während das Glas in feurig flüssigem Zustand aus dem Schmelzofen gezogen wird. Aus diesen Gründen ist auch im vollständig verlustlosen (idealen) Schmelzofen ein bestimmter Wärmebedarf erforderlich.

Anders beim Kühlofen, der, verlustlos gedacht, eigentlich gar nicht auf die Bezeichnung Ofen Anspruch hätte; denn hier wird das Arbeitsgut heiß eingebracht und kalt entnommen, so daß im ganzen Ofen nicht Wärme zugeführt, sondern im Gegenteil vom Glas Wärme abgegeben wird. Wären die Wände des Ofens vollkommene Isolatoren, ihre Wärmeleitfähigkeit unendlich gering, so wäre eine Abkühlung des einmal auf die Glastemperatur gebrachten Ofens unmöglich. Es müßte dann eine künstliche Ventilation einsetzen, indem z. B. Luft durchgeleitet würde, die dem Glas seine Wärme so langsam entzieht, wie es der beabsichtigten Dauer des Kühlvorganges entspricht. Die angewärmte Luft könnte dann für irgendwelche Zwecke verwendet werden. In einem solchen idealen Kühlraum wäre also, vom erstmaligen Heizen abgesehen, kein Brennstoffaufwand erforderlich, sondern es könnte im Gegenteil noch Wärme gewonnen werden.

Da es vollkommene Isolatoren nicht gibt, ist dieser Vorgang natürlich praktisch nicht ausführbar, sondern nur als Grenzfall denkbar. Ein weiterer charakteristischer Fall wäre der, daß die vom Glas an die Wände des geschlossenen und nicht ventilierten Kühlraumes abgegebene Wärme ausreichen würde, um den Wärmeverlust der Wände an die Umgebung zu decken; auch hierbei würde der Kühlvorgang nach einmal vollzogener Aufheizung auf die dem Beharrungszustand entsprechenden Temperaturverhältnisse keinen Wärmeaufwand mehr erfordern; die in dem eingeführten Glas enthaltene Wärmemenge wäre aber verloren. Gelangt das Glas z. B. mit einer Temperatur von 700 °C in den Kühlofen und wird es mit einer Temperatur von 60 °C herausgezogen, so gibt es bei einer mittleren spezifischen Wärme von 0,25 kcal/kg und °C eine Wärmemenge von

$$0{,}25 \cdot (700 - 60) = 160 \text{ kcal/kg}$$

ab, die nun von den Wänden abgestrahlt wird.

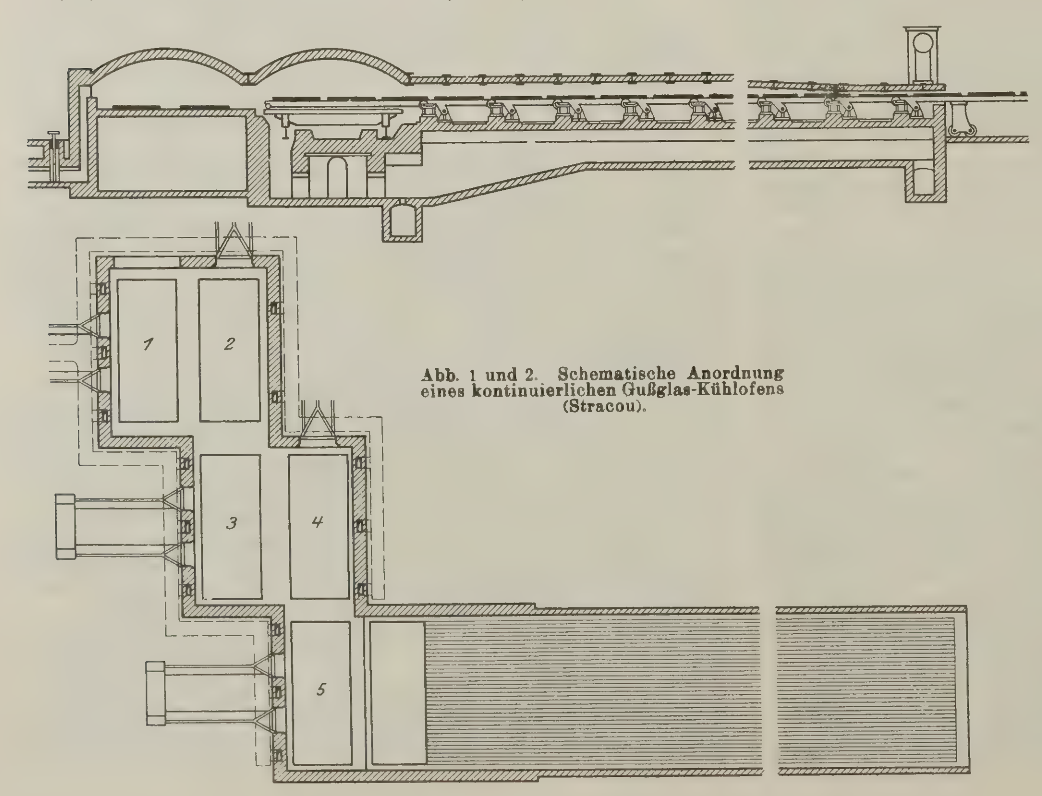


Abb. 1 und 2. Schematische Anordnung eines kontinuierlichen Gußglas-Kühlofens (Stracou).

In der ersten Kammer des Stracous wird die Platte nach dem Einschieben meist nicht sofort gekühlt. Die Tafeln müssen nämlich vor dem Einschieben auf eine solche Steifheit abgekühlt sein, daß sie sich beim Schieben nicht stauchen oder falten. Da diese Abkühlung außerhalb des Ofens verhältnismäßig schnell und ungleichmäßig vor sich geht, würden die Tafeln bei einer unmittelbar folgenden weiteren Abkühlung spröde werden und, falls sie nicht schon im Ofen springen, große Verluste beim Schneiden ergeben. Zum Ausgleich der durch das Walzen und die erste Abkühlung entstandenen Spannungen sollen nun die Platten in der ersten Kammer des Kühlofens nicht gekühlt werden, sondern zum mindesten auf gleicher Temperatur erhalten bleiben, wenn diese oberhalb der kritischen Temperatur liegt. Noch vorteilhafter, insbesondere bei geringerer Aufenthaltsdauer in der Kammer, ist die Erwärmung der Platte auf eine höhere Temperatur, zu welchem Zweck die Kammer entsprechend hoch aufgeheizt werden muß. Die vom Glas dabei aufgenommene Wärme ist verhältnismäßig gering; bei einer Auf-

heizung von z. B. 700° auf 750 °C beträgt sie 0,25 (750 — 700) = 12,5 kcal/kg Glas. Diese Wärmemenge wird aber natürlich bei der folgenden Abkühlung wieder an den Ofen abgegeben, so daß für die Berechnung des Wärmeumsatzes die Temperatur zugrunde gelegt werden kann, womit das Glas in den Ofen gelangt. Von da angefangen, könnte in den erwähnten Grenzfällen von einer Heizung des Ofens abgesehen werden. Eine kurze Rechnung zeigt, daß im Beharrungszustand und bei gut geschlossenen dichten Öfen die Verhältnisse, unter welchen eine Heizung vermieden werden könnte, nicht außerhalb der praktischen Durchführungsmöglichkeit liegen.

Eine Rohglasplatte von 12 mm Dicke wiegt rd. 31 kg/m². Das Gewicht einer Platte von z. B. 30 m² Fläche ist also rd. 930 kg. Wird alle 8 min ein Guß ausgeführt, so wandern stündlich 60 : 8 = 7,5 Platten durch den Ofen. Die Abkühlung beträgt in der zweiten bis fünften Kammer etwa 25 bis 50° je Kammer, im Kühlkanal etwa 15 bis 20° je Plattenbreite. Bei einer Abkühlung von z. B. 35° in einer der Kammern werden also

$$7{,}5 \cdot 930 \cdot 0{,}25 \cdot 35 = \text{rd. } 60\,000 \text{ kcal/h}$$

von dem Glas an die betreffende Kammer abgegeben. Die entsprechende nach außen Wärme abgebende Oberfläche der Kammer beträgt etwa 120 m² je Platte. Der Koeffizient für den Wärmeübergang von Wänden mit 60 bis 100° Außentemperatur an die Umgebung beträgt nach Versuchen (vergl. „Mitteilung" Nr. 51 der Wärmestelle Düsseldorf, S. 15 Zahlentafel 1) etwa 10 bis 12 kcal, im Mittel 11 kcal/m². Die vom Glas bei seiner Abkühlung in der Kammer abgegebene Wärme würde bei Vermeidung jeder Ventilation voll und ausschließlich von den Wänden durch Leitung und Strahlung an die Umgebung weitergegeben. Bei einer Temperatur der Umgebung von 15° müßte die Außenwandtemperatur t der betreffenden Kammer die folgende Bedingung erfüllen

$$11 \cdot 120\ (t - 15) = 60\,000,$$

daraus errechnet sich t = rd. 60°.

Wird eine Steigerung der Außenwandtemperatur durch entsprechende Wahl der Wanddicke und des Baustoffes (Isolierung!) vermieden und ferner jede Luft- oder Gasbewegung im Ofen ausgeschaltet, so brauchte also im Beharrungszustand dieser Kammer keine Wärme zugesetzt werden.

In Wirklichkeit muß aber der Kühlofen dauernd geheizt werden. In einem beobachteten Fall wurden z. B. für 1 kg Glas rd. 0,32 kg Steinkohle mit einem Heizwert von 7000 kcal/kg, entsprechend einer Wärmemenge von

$$0{,}32 \cdot 7000 = 2240 \text{ kcal/kg Glas}$$

für den Kühlofen gebraucht. Die Beheizung erfolgte mit Generatorgas, bei dessen Erzeugung und Leitung von den Gaserzeugern zum Ofen ein Verlust von 0,04 kg Kohle für 1 kg Glas eintritt. Zur Heizung werden also noch 0,28 kg Kohle, entsprechend rd. 2000 kcal/kg, verbraucht, das ist also 12½ mal soviel wie vom Glas selbst bei seiner Abkühlung abgegeben wird.

Einen Hauptanteil an diesem großen Brennstoffverbrauch haben die zum Aufheizen bzw. Warmhalten des Ofens erforderlichen Wärmemengen. Der Ofen muß, bevor die zu kühlende Platte eingeschoben wird, auf die dem Beharrungszustand entsprechenden Temperaturverhältnisse gebracht werden. Diese Wärmemengen belasten den spezifischen Wärmeverbrauch (bezogen auf 1 m² oder 1 kg Glas) um so mehr, je geringer die in einem Arbeitsgang des Ofens gekühlte Glasmenge ist. Arbeiten z. B. 3 Schmelzöfen auf 1 Kühlofen, so kann mit einem spezifischen Brennstoffverbrauch von etwa 7 bis 8 kg Steinkohle (7000 kcal) auf 1 m² Rohglas, entsprechend 0,23 bis 0,26 kg Kohle oder 1600 bis 1800 kcal auf 1 kg Glas gerechnet werden. Ist jedoch nur ein einziger Schmelzofen in Betrieb, so daß der Kühlofen nur den 3. Teil der früheren Glasmenge zu verarbeiten hat, dann steigt der spez. Brennstoffverbrauch auf etwa den 2½fachen Betrag.

Die Bedeutung des Durchsatzes für die Wirtschaftlichkeit ist beim Kühlofen also weitaus größer als beim Schmelzofen, weil beim Kühlofen von einer eigentlichen Nutzwärme nicht gesprochen werden kann, während beim Schmelzen mit dem Durchsatz auch die Nutzwärme steigt und deshalb der spez. Wärmeverbrauch nicht so stark mit dem Durchsatz abnimmt.

Dazu kommt, daß die Abmessungen des Kühlofens nur von der Größe der zu kühlenden Platte abhängen und in keiner Weise von dem Durchsatz. Auch mit der in 3 Schmelzöfen erzeugten Glasmenge ist die Leistungsfähigkeit des Kühlofens nicht erschöpft. Nimmt man die Erzeugung eines 16häfigen Ofens mit 450 m² an und eine Dauer von 7½ min für den Guß aus einem Hafen, so würde der Guß in 2 h beendet sein. Zur vollen Ausnützung des Stracous wären also 12 Schmelzöfen erforderlich. Es könnte dann jedes Anheizen vermieden und der spez. Brennstoffverbrauch auf einen sehr kleinen Bruchteil heruntergedrückt werden. Eine so große Erzeugung ist jedoch bis jetzt in keiner deutschen Hütte vorhanden.

Die ganze von der Feuerung des Stracous herrührende und die vom Glas abgegebene Wärme geht an die Umgebung verloren und zwar durch Leitung und Strahlung der Wände (Wandverlust), dann in den Abgasen und schließlich durch beabsichtigte oder unbeabsichtigte Ventilation. Eine Feuerung selbst findet nur in den 5 Kammern statt. Der Kühlkanal wird durch die Abgase der Feuerung geheizt und zwar entweder unmittelbar, indem die Abgase durch den Kanal strömen und durch Öffnungen im Gewölbe in den Hüttenraum oder niedrige Schornsteine entweichen, oder aber mittelbar, indem die Abgase durch einen unter dem Kühlkanal liegenden Heizgaskanal zum Schornstein strömen. Der Wärmeinhalt der Abgase ist im Verhältnis zu den Wandverlusten gering. In dem erwähnten Fall erfolgte die Heizung des Kühlkanals mittelbar, und die Temperatur der Abgase am Schornstein betrug etwa 150 °C. Die Menge der Abgase wurde rechnerisch zu rd. 8,5 m³ für 1 kg Kohle aus der Gasanalyse und der Kohlenstoffbilanz ermittelt, d. i.

$$0{,}32 \cdot 8{,}5 = 2{,}7 \text{ m}^3 \text{ für 1 kg Glas.}$$

Bei einer mittleren spezifischen Wärme der Abgase von 0,31 kcal für 1 m³ und °C beträgt dann ihr fühlbarer Wärmeinhalt am Ofenaustritt

$$2{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 150 = 126 \text{ kcal für 1 kg Glas}$$

über dem Normalzustand von 0°, d. i.

$$126 : 2240 = 5{,}7 \text{ vH der Brennstoffwärme.}$$

Diese Zahl gibt aber keinen richtigen Begriff für den eigentlichen Verlust durch den Wärmeinhalt der Abgase. Man muß dabei berücksichtigen, daß eine Abkühlung der Abgase auf 150 °C im Ofen gar nicht erforderlich wäre. In den Kühlkanal gelangen die Gase mit einer Temperatur von etwa 600° und einem Wärmeinhalt von

$$2{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 600 = 510 \text{ kcal für 1 kg Glas, entsprechend}$$
$$520 : 2240 = 23 \text{ vH der Brennstoffwärme.}$$

Der Unterschied von rd. 17 vH gegenüber der Abgaswärme am Schornstein dient zur mittelbaren Beheizung des Kühlkanals. Die Abgase erwärmen die zwischen Abgas- und Kühlkanal liegende Wand über die Temperatur des Glases an der betreffenden Stelle so, daß von der Wand Wärme an die Unterseite der Glasplatte gestrahlt und die Wärmestrahlung der Oberseite an das Gewölbe des Kühlkanals dadurch z. T. ausgeglichen wird. Die Abkühlung soll auf diese Weise auf die vorgeschriebene Dauer ausgedehnt werden. Im vorliegenden Fall war diese Heizung des Kanals zu stark, und es mußte zur Verkürzung der Kühldauer ein großer Teil dieses Betrages dem Ofen durch „künstliche Kanalkühlung" wieder entzogen werden, indem durch Öffnungen in der Decke eine absichtliche Ventilation des Kanales erzeugt wird; die durchstreichende Luft nimmt schätzungsweise etwa 13 bis 14 vH der Brennstoffwärme auf und entführt sie.

Eine Ventilation tritt auch häufig unbeabsichtigt auf, indem durch Spalten und Undichtigkeiten der Wände des Kühlkanals und der Kammern falsche Luft eindringt. Es entstehen dann nicht nur Wärmeverluste, sondern auch Nachteile für die Qualität des Glases, das durch die unbeabsichtigte Kühlung spröde wird und oft schon im Kanal springt.

Man macht der Anordnung mit hinter den Kühlofen geschaltetem Schornstein den Vorwurf, daß durch den erzeugten Unterdruck eine solche unbeabsichtigte Ventilation leichter entstünde. Dem muß durch sorgfältige Dichthaltung des Ofens abgeholfen werden.

Würde die Ventilation möglichst vermieden und der größte Teil der Abgase schon im vorderen Teil des Kühlkanals abgeführt werden, so könnte der Wärmeinhalt der Abgase nicht nur um die Ventilationsverluste, sondern auch noch um beträchtliche Wandverluste erhöht werden; die Abgase stünden dann vielleicht mit 500 °C zur Verfügung und könnten vorteilhaft zur Vorwärmung von Gas und Luft oder zur Beheizung von Dampfkesseln, zur Erzeugung von Warmwasser usw. ausgenutzt werden. Über Abhitzekessel hinter Stracous ist bis jetzt nichts bekannt geworden; hingegen werden die Abgase von Tafelglas-Streck- und -Kühlöfen in einzelnen Fällen bereits für diesen Zweck verwertet. Selbstverständlich muß die Anordnung so getroffen werden, daß die Abgase bei der Anheizperiode auf den Kühlkanal umgeschaltet werden können.

Kommt eine Abhitzeverwertung nicht in Betracht, dann hat es natürlich keinen Zweck, auf eine Verringerung der Abgas-Abkühlung im Ofen bedacht zu sein, und eine Herabsetzung der Abgasverluste ist nur durch Verringerung der Abgasmenge denkbar. Es ist also zu erstreben, die zur Heizung der Vorderkammer erforderliche Gasmenge so gering wie möglich zu halten, und zu diesem Zweck muß wieder für eine Verminderung der Wandverluste gesorgt werden. Nach Abzug der Abgas- und Ventilationsverluste ergibt sich in dem betrachteten Fall für den Wandverlust ein Betrag von etwa 75 vH der Brennstoffwärme. Davon entfallen etwa ¾ dieses Betrages auf die Kammern und ¼ auf den Kühlkanal. Es ist dabei weiter zu berücksichtigen, daß die durch die Wände des Kühlkanals gehende Wärme keinen eigentlichen Verlust darstellt, wenn von einer Abhitzeverwertung abgesehen wird, da der Kühlkanal ja nicht befeuert wird und der Wärmeinhalt der Abgase am Eintritt in den Kühlkanal nur von den Verhältnissen in den vorderen Kammern abhängt. Eine Verbesserung der Wärmewirtschaft des Kühlofens muß also bei den vordern Kammern einsetzen.

Durch zweckmäßige Isolation der vorderen Kammern und zwar am Gewölbe, Boden, an der Stirnwand und an den Seitenwänden ist es z. B. bei den ähnlich gebauten Tafelglas-Strecköfen möglich gewesen, eine Ersparnis von 50 bis 60 vH der vor der Isolation erforderlichen Brennstoffmengen zu erzielen.

Die Isolation des Kühlofens ist viel leichter durchzuführen als etwa die des Schmelzofens, weil die Verbrennungstemperaturen auch in der heißesten Vorkammer kaum über 900 bis 1100 °C hinausgehen und eine Gefährdung der Gewölbesteine und der Brenneröffnungen dabei nicht zu befürchten ist. Auch die im Schmelzofen mögliche Verunreinigung des Glases durch Tropfen der Gewölbesteine, die eine Hauptschwierigkeit der Schmelzofen-Isolation darstellt, fällt beim Kühlofen fort. Es ist unter diesen Umständen beinahe unbegreiflich, daß der Brennstoffersparnis beim Kühlen durch Isolation bis jetzt kaum Beachtung geschenkt worden ist.

Es wurde bereits angedeutet, daß bei einer günstigeren Führung der Abgase deren Wärmeinhalt vorteilhaft zur Vorwärmung des Gases und der Verbrennungsluft in Regeneratoren oder zur Vorwärmung der Luft allein in Rekuperatoren ausgenutzt werden könnte. Durch die

Vorwärmung steigt bei sonst unverändertem Mengenverhältnis von Gas und Luft die Verbrennungstemperatur. Mit wachsender Verbrennungstemperatur steigt der Wärmeübergang an die Ofenwand, so daß der Ofen mit einer geringeren Gemischmenge auf der erforderlichen Temperatur gehalten werden kann. Ist eine Steigerung der Flammentemperatur nicht erwünscht mit Rücksicht auf die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung, so läßt sich die gleiche Temperatur wie ohne Vorwärmung durch Verringerung der Gasmenge und Vergrößerung des Luftüberschusses erzielen. In beiden Fällen ist es bei Vorwärmung möglich, mit weniger Gas auszukommen, also Brennstoff zu sparen. Nimmt man z. B. eine Abkühlung der Abgase am Regenerator oder Rekuperator von 500 bis 200 ° an, (welche Temperatur zur Erzeugung der notwendigen Zugstärke noch genügen dürfte), so könnten damit

$$\text{rd. } 8{,}5 \cdot 0{,}32 \cdot (500 - 200) = \text{rd. } 800 \text{ kcal auf } 1 \text{ kg Kohle}$$

den Abgasen entzogen und nach Abzug von etwa 10 vH Wandverlusten noch mehr als 700 kcal, d. i. also 10 vH der Brennstoffwärme zur Vorwärmung verwendet werden. Entsprechend geringer wäre der Brennstoffverbrauch.

Um die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen auf den Brennstoffverbrauch der Kühlöfen feststellen zu können, empfiehlt es sich, das Gas nicht aus einem Sammelkanal zu entnehmen, aus welchem auch andre Öfen gespeist werden, sondern für die Kühlöfen getrennte Gaserzeuger aufzustellen, und zwar vorteilhaft so nahe wie möglich an die Öfen heran, um Verluste durch Abkühlung in der Leitung zu vermindern. Diese Trennung der Gaserzeuger hat weiterhin den Vorteil, daß dann ihre Führung unter Berücksichtigung des Wärmebedarfs der betreffenden Öfen erfolgen kann und ferner eine gegenseitige störende Beeinflussung der Öfen entfällt.

Ähnliche Überlegungen wie für den Stracou können sinngemäß auch für andere Arten von kontinuierlichen Kühlöfen angestellt werden. Zusammenfassend kann nach den vorstehenden Ausführungen gesagt werden, daß der wärmetechnische Ausbau der Kühlöfen eine sehr dankbare Aufgabe für die Glashütten darstellt.

[R 353] Dr.-Ing. W. Friedmann.

Dampfwirtschaft in der Glasindustrie.

Auf vielen Glashütten, besonders auf denen, die abseits der großen Verkehrsstraßen liegen, wird man heute noch den alten Siemens-Gaserzeuger finden, der mit natürlichem Zug ohne Dampfzufuhr betrieben wird und von Wind und Wetter abhängig ist.

Der Glashüttenmann kann sich nur schwer entschließen, seine Gaserzeuger auf einen neuzeitlichen Betriebzustand zu bringen, da die Voraussetzungen hierzu fehlen. Künstliche Luftzufuhr ist wohl leicht anzubringen, denn elektrische Kraft ist vorhanden und ein Ventilator bald aufgestellt. Aber Dampf ist im allgemeinen auf einer Glashütte nicht zu finden. Die kleineren, besonders die Tafelglashütten, haben meistens als einzige Betriebseinrichtung ihren Schmelzofen und dazu gehörige Nebenöfen (Trommelöfen, Kühlöfen usw.). Mechanische Werkstätten, in denen Dampf verbraucht werden könnte, bestehen nicht. Und doch ist die Möglichkeit, Dampf zu verwenden, auch auf diesen Glashütten groß genug. Soziale Einrichtungen, Bäder, Waschgelegenheiten für die Arbeiter, Heizungen von Kontorräumen, Wohnungen usw. können Dampfverbraucher sein. Der erforderliche Dampf wird dann auf diesen Glashütten von einer abseits stehenden Lokomobile oder auch von einem eingebauten, feststehenden Kessel geliefert.

Wirklich verwendbare Aufschreibungen über Kohlenverbrauch, verdampfte Wassermenge, Dampfzustand, Betriebstunden usw. werden kaum gemacht. Da heute jeder Betrieb schwer zu kämpfen hat und mit allen Mitteln versucht, seine Unkosten herabzusetzen, so muß auch hier durchgegriffen werden. Die Erkenntnis, daß mit allen Rohstoffen sparsam umgegangen werden muß und daß unsere Wettbewerbfähigkeit nur durch eine auf das schärfste angespannte Kalkulation erhalten werden kann, ist noch immer nicht überall durchgedrungen und klar erfaßt worden.

An Rohstoffen für die eigentliche Herstellung des Glases lassen sich kaum noch Ersparnisse im Betriebe, außer durch eine gute und geordnete Verwaltung herauswirtschaften. Dagegen wird mit den Brennstoffen noch viel gesündigt. Die kleinen Kessel und Lokomobilen müssen verschwinden. In den Abgasen der Schmelz-, Trommel-, Kühl- usw. Öfen steckt genügend Abwärme, die in der heutigen Not verwertet werden muß. Die Befürchtung der Glashüttenleute, daß durch Einbau von Abhitzekesseln der Betrieb der Öfen bzw. das Glas leide, ist unbegründet.

Nach Angaben der „Wärmetechnischen Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie“, Frankfurt a. Main (Abhitzekessel in Glashütten 1921), sind bereits eine Anzahl von Abhitzekesseln im Betrieb und arbeiten einwandfrei, ohne den Schmelz- bzw. Arbeitsvorgang in und an den Öfen zu beeinträchtigen. In der Spiegelmanufaktur von St. Gobain, Chauny und Cirey, Zweigniederlassung Stolberg, wird die Abhitze eines Glasschmelzhafen- und eines Wannenofens durch zwei Wasserrohrkessel für natürlichen Zug von 190 und 180 m² Heizfläche und 10 at Dampfüberdruck verwertet. In der Spiegelmanufaktur Waldhof A.-G., Mannheim-Waldhof, dient ein Wasserrohrkessel von 150 m² und 20 at zur Verwertung der Abwärme eines Spiegelglashafenofens, ferner ein Wasserrohr-(Garbe-)Kessel mit künstlichem Zug von 200 m² Heizfläche und 10 at Überdruck zur Verwertung der Abhitze eines Glasschmelzwannenofens. Ähnliche Anlagen finden sich bei den Vereinigten Vopeliusschen und Wentzelschen Glashütten, Sulzbach an der Saar, bei der Tafelglashütte Westfalia, Bielefeld, und bei der Glashütte Lautzenthal, G. m. b. H., St. Ingbert (Pfalz). Die Tatsachen zeigen, daß eine solche Abwärmeverwertung praktisch möglich und einwandfrei ist.

Neben der Erzeugung des Dampfes durch Abwärme sind seine Verteilung und sein Verbrauch von gleich großer Bedeutung. In einer genauen Kalkulation des Erzeugnisses und in der Bestimmung der Unkostenanteile, besonders der Anteile der unproduktiven Teile des Betriebes an den Unkosten müssen neben den sonstigen verbrauchten Materialien auch die verbrauchten Dampfmengen erscheinen. Diese Maßnahme läßt sich aber nur durchführen, wenn in jede Verbrauchsleitung ein Dampfmesser eingebaut ist. Es muß zur Selbstverständlichkeit werden, daß, ebenso wie in jeder elektrischen Leitung ein Elektrizitätszähler, in jeder Gasleitung ein Gasmesser sitzt, in jede Dampfleitung ein Dampfmesser gehört. Für derartige Betriebe sind die Gehre-Dampfmesser geeignet.

Ein für viele Glashütten wichtiger Punkt wäre bei der Abwärmeverwertung noch zu nennen: die sogenannte Tarif- oder Deputatkohle, die den Glasarbeitern häufig noch für Koch- und Heizzwecke gegeben wird. Im allgemeinen werden die Abhitzekessel groß genug werden, um auch noch Dampf für die Beheizung der Arbeiterwohnungen liefern zu können. Dadurch wäre ein für allemal der häufig strittige Tarifpunkt zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer, die Deputatkohle, beseitigt.

Charlottenburg. [M 314] Dipl.-Ing. G. Maschlanka.

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7 Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Das Glas. Von Hans Schulz. München 1923, Josef Kösel & Friedrich Pustet, Komm.-Ges., Verlagsabt. Kempten. 180 S. mit 37 Abb., 6 Tafeln.

Wer Glas als Werkstoff benutzt oder verarbeitet, muß Kenntnis besitzen von den Glaseigenschaften und ihren Abhängigkeiten von der Zusammensetzung. Bisher spielte nur für wenige Hütten, die optisches Glas bereiten, die Glasqualität eine ausschlaggebende Rolle. Die Hersteller der übrigen technischen Gläser sollten sich den Inhalt von Schriften, wie den vorliegenden, zunutze machen.

Das Buch bringt in geschickter Übersicht alles Wissenswerte aus dem Gebiete der Glas-Physik und -Chemie. Es stellt eine wertvolle Sammlung der Ergebnisse von Arbeiten dar, die sich mit Glas wissenschaftlich befaßt haben. Hervorzuheben ist, daß der Verfasser den neuen ausländischen Veröffentlichungen hierbei einen breiten Raum gewährt. Der Vorrang und der Wert der deutschen Forschung wird dadurch nicht geschmälert. Der Verfasser kommt zu dem beachtenswerten Schluß, daß neue Gläser mit wesentlich geänderten Eigenschaften nicht mehr zu erwarten sind, nachdem fast der gesamte Kreis der Elemente durchforscht ist. Die möglichen Verbesserungen seien nur technischer Art, ein Beweis für die Wichtigkeit der Ausbildung unserer Glastechnik, die sich neuzeitliche Bestrebungen zum Ziele gesetzt haben. [B 363] Mch.

Lehrbuch der Glasbläserei. Von Carl Woytacek. Hamburg 1924, Otto Meißner. 279 S. m. 576 Abb. u. Zeichn. Preis geh. Gm. 13, geb. Gm. 15.

Handfertigkeiten lassen sich im allgemeinen nicht durch Bücher, sondern eher durch Übung erlernen. Trotzdem hat es der Verfasser, und zwar mit Erfolg unternommen, einen Leitfaden zur Erlernung der Glasbläserei niederzuschreiben. Alle seine Erfahrungen und sein ganzes Wissen, das er während einer vierzigjährigen praktischen Tätigkeit und als Lehrer an Fachschulen gesammelt hat, legt er in dem gut ausgestatteten Buche nieder. Das Werk birgt damit einen eigenartigen und stark persönlichen Charakter in sich, es wird seinesgleichen suchen müssen.

Der Inhalt des Buches besteht aus zwei Teilen; der erste handelt von der Anleitung zum Glasblasen. Methodisch werden die Glassubstanz, die Geräte und Werkzeuge und dann in der Art von Übungen die Vorgänge des Glasblasens behandelt. Der zweite Teil befaßt sich in 10 Abschnitten mit der Anfertigung der Apparate und Glasinstrumente. Quecksilber-Pumpen, Vakuumröhren, Aräometer, Barometer und Thermometer u. a. werden der Reihe nach besprochen.

Das Werk stellt über die rein handwerksmäßigen Ziele hinweg auch für die wissenschaftliche Glastechnik einen erfreulichen Zuwachs dar.

[B 376] M.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: D. MEYER ★

NR. 22 SONNABEND, 31. MAI 1924 BD. 68

INHALT:

FÜNFUNDZWANZIG JAHRE ZEPPELIN-LUFTSCHIFFBAU.

I. DAS AMERIKA-LUFTSCHIFF LZ 126.

Von Direktor Dr. L. Dürr, Friedrichshafen.

Beschreibung des vom Luftschiffbau Zeppelin, G. m. b. H., für Amerika als Reparationsleistung gebauten Fahrgast-Luftschiffes. Weitere Teile des Aufsatzes, die den Werdegang des Luftschiffbaues behandeln, folgen später.

Das als Reparationsleistung des Deutschen Reiches auf Grund des Friedensvertrages auf der Werft Luftschiffbau Zeppelin G. m. b. H., Friedrichshafen, für die Marine der Vereinigten Staaten von Amerika 1923/24 gebaute Luftschiff, dessen Gasinhalt den aller bisher gebauten Luftschiffe übertrifft, ist durch folgende Hauptabmessungen gekennzeichnet:

Nenngasinhalt	70 000 m³,
größte Länge ohne Mastfesselgeschirr	200 m,
größter Durchmesser	27,64 m,
größte Breite	27,64 m,
größte Höhe einschließlich Gondelpuffer	31 m.

Dieses Luftschiff trägt die Werftnummer LZ 126 und wird im amerikanischen Dienste die Bezeichnung ZR 3 führen. Es ist als Verkehrsluftschiff gebaut und für die Beförderung von 20 bis 30 Fahrgästen für längere oder kürzere Fahrten eingerichtet. Seine Gesamtanlage ist im allgemeinen bekannt: Ein stromlinienförmiger Schiffskörper, der aus einem starren, formhaltenden und mit Stoff bespannten Leichtmetallgerippe mit am Heck angebautem Leitwerk besteht und in einer größeren Anzahl voneinander getrennter Zellen das Traggas für den statischen Auftrieb enthält; er trägt außen in seinem hinteren und mittleren Teil, in mehrere Gondeln verteilt, die Maschinenanlage für den Vortrieb des Schiffes und in seinem vorderen Teile die Führergondel mit einer an diese sich hinten anschließenden Fahrgastgondel, während alle übrigen Einrichtungen und Lasten im Schiffskörperinnern untergebracht sind. Konstruktion und Bauweise entsprechen dem neuesten Stande der Entwicklung. Besonders die Ansprüche auf Sicherheit sind weitgehend beachtet worden, was für ein Fahrgastschiff in höherem Grade als für ein Kriegschiff erforderlich ist. Hierdurch wird allerdings die Leistungsfähigkeit, insbesondere die nutzbare Tragfähigkeit des Fahrgastschiffes, herabgemindert.

Als Maß für die Tragfähigkeit des Schiffes gilt das Gewicht der Lasten, die das Schiff an Besatzung, Betriebstoffen, Ballast, Mundvorrat, Reserveteilen, besonderen Betriebshilfsmitteln und an eigentlicher „Zahlender Ladung" einschließlich der Fahrgäste unter sogenannten normalen atmosphärischen Verhältnissen, das ist bei 760 mm Q.-S. Barometerstand, 0 °C Luft- und Gastemperatur und 60 vH relativer Feuchtigkeit mitzuführen vermag. Diese Gesamtnutzlast beträgt für LZ 126 bei mit Wasserstoffgas vom spezifischen Gewicht $s = 0{,}1$ bezogen auf Luft prall gefüllten Zellen rd. 46 000 kg. Mit der gesamten Maschinenleistung von 2000 PS kann das Schiff eine größte Geschwindigkeit von 127 km/h und bei etwa ⅔ Kraft eine Marschgeschwindigkeit von 113 km/h entwickeln. Mit dieser erreicht es, wenn sich Fracht, Gepäck und Fahrgäste mit einem Gesamtgewicht von 5 t als zahlende Ladung an Bord befinden, und wenn die zum Einbau vorgesehene Höchstzahl von Benzinbehältern zugrunde gelegt wird, rechnungsmäßig eine größte Fahrtdauer von 110 Stunden, was bei Windstille einem Fahrtbereich von 12 500 km entsprechen würde. (Durchmesser der Erde am Äquator rd. 12 700 km).

Die beigeheftete Tafel gibt in Abb. 1 bis 10 einen Überblick über die Gesamtanlage und Konstruktion des Schiffes mit seinen Betriebs- und Nutzeinrichtungen. Abb. 11 bis 15 veranschaulichen eine der Maschinengondeln und die Abb. 16 bis 19 die Einrichtung der Führer- und Fahrgastgondel.

Der Schiffskörper.

Das starre Schiffskörpergerippe, Abb. 20 bis 25, dem die Aufgabe der Formhaltung gegenüber den Beanspruchungen durch die Auftriebkräfte, Lasten und Luftkräfte zufällt, ist in der bekannten Zeppelinschen Bauart aus Systemen von Quer- und Längsträgern zusammengefügt. Die Querträgersysteme, die ihrer Form entsprechend die Bezeichnung „Ringe" führen, bestimmen die Querschnittform des Schiffskörpers, bei LZ 126 ein 22-Eck, das aus einem regelmäßigen 24-Eck durch kielförmiges Hinausschieben des untersten Ringseitenpaares entstanden ist. Der dieses 24-Eck an der dicksten Stelle des Schiffskörpers umschreibende Kreis gibt die als „Größter Durchmesser" bezeichnete Hauptabmessung des Schiffes. Solche Ringe sind in bestimmten, in der Hauptsache regelmäßigen Abständen angeordnet, und ihre Eckpunkte sind durch die Längsträger miteinander verbunden, Abb. 26, die entsprechend der Umrißlinie des die Grundform des Schiffskörpers bildenden stromlinienförmigen Umdrehungskörpers verlaufen.

In ihrem unteren Teil sind die Ringe fachwerkartig ausgebildet, so daß an der Unterseite des Schiffskörpers ein Kielgerüst von dreieckigem Querschnitt entsteht, das sich über die ganze Schiffslänge erstreckt, als Bedienungsgang ausgebildet ist und alle Einrichtungen, Behälter und Räume enthält, die für Betrieb und Führung des Schiffes notwendig sind.

Die einzelnen Quer- und Längsträger bestehen aus Duralumin-Profilstäben und -streben und sind genietet. In der

Regel haben sie dreieckigen Querschnitt. An einzelnen besonderen Stellen sind auch viereckige Träger und mitunter anstatt der Strebenkreuze gestanzte und gebördelte Blechwände verwendet. Die dreieckigen Träger sind so gelegt, daß ihre Spitze bei den Ringen nach innen und bei den Längsträgern nach außen weist, wobei sie derart durch die Ringecken hindurchgeführt sind, daß das die Spitze bildende Profil außerhalb der Ringkonstruktion

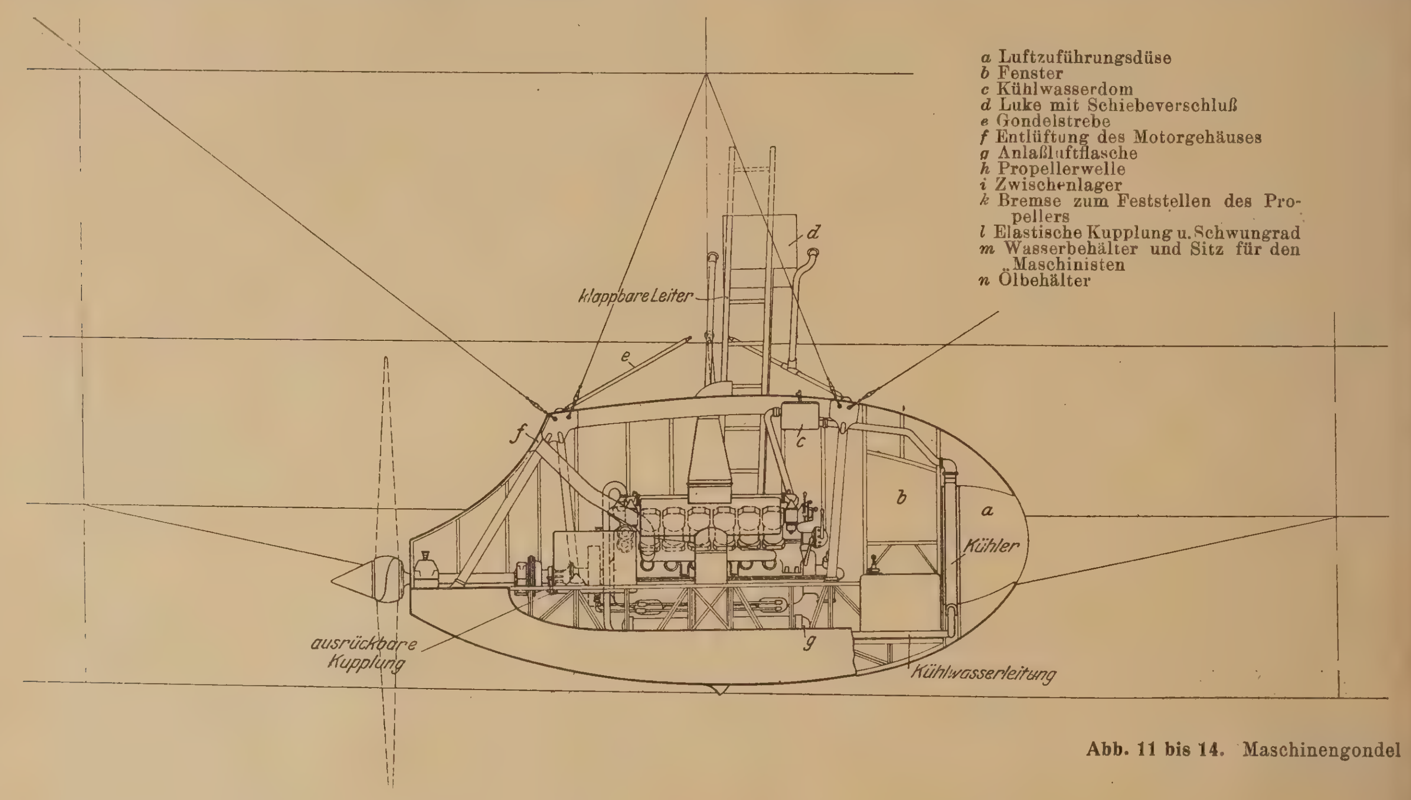


Abb. 11 bis 14. Maschinengondel

zu liegen kommt und sich so eine fortlaufende Längskontur ergibt.

Die Träger sind unter sich an den einzelnen Gerippeknotenpunkten durch Laschen und Niete verbunden. Die Form des Ganzen wird durch Drahtverspannungen versteift, die als Ringverspannungen in der Ebene einzelner Ringe und als Diagonalverspannungen in den von den Ring- und Längsträgern gebildeten Feldern des Schiffskörpermantels verlaufen, Abb. 20. Die Ringe mit Verspannung werden Hauptringe, diejenigen ohne Verspannung Hilfs- oder Zwischenringe genannt. Die verspannten Hauptringe, die sich außerdem von den Hilfsringen dadurch unterscheiden, daß ihre Seiten paarweise als Sprengwerke ausgeführt sind, zerlegen den gesamten Innenraum des Schiffskörpers in eine Anzahl Teilräume. Entsprechend ihren gegenseitigen Abständen ergibt sich für diese Teilräume im Heck eine Abteillänge von 10 m, im Hauptteil des Schiffes eine solche von 15 m und im Schiffsvorderteil von 12 m, wobei unverspannte Hilfsringe im allgemeinen in Abständen von je 5 m dazwischen angeordnet sind.

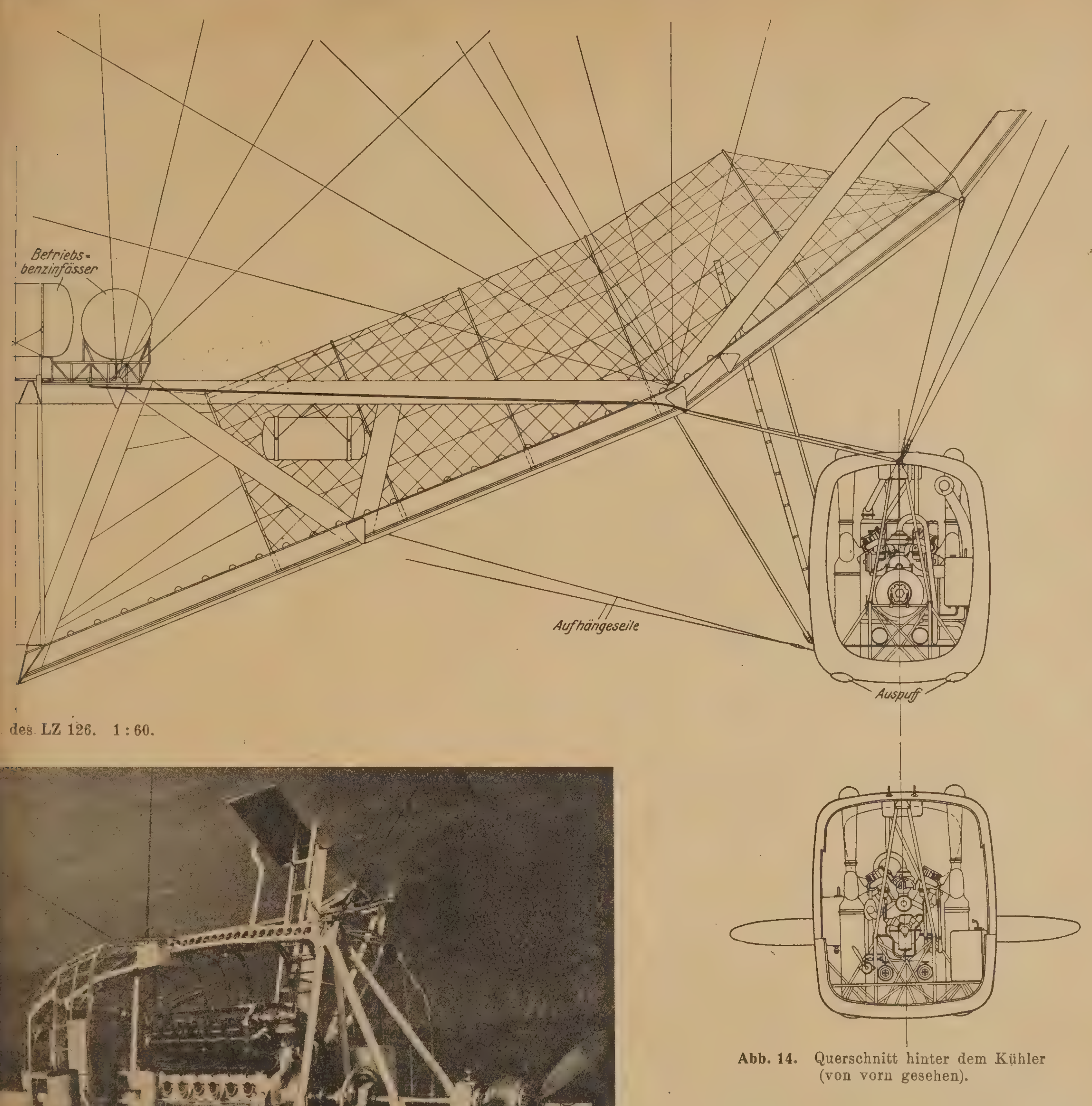
Abb. 12. Grundriß.

In diesen 14 Abteilen, in Abb. 10 mit römischen Ziffern bezeichnet, finden die eigentlichen Gasbehälter, die Gaszellen, Abb. 20, die aus sogenannter Stoffhaut, einem mit Darmhäuten beklebten leichten Baumwollgewebe hergestellt sind, Platz. Ihre Form ist derart, daß sie im prallen Zustande den ihnen zur Verfügung stehenden Gerippeраum ganz ausfüllen, wie es in Abb. 7 am Beispiel eines Zwischenringes veranschaulicht ist.

Außer Gasundurchlässigkeit werden besondere Anforderungen an die Stoffhaut nicht gestellt, denn die Auftriebkräfte der Zellen werden durch ein besonderes Netz von Drähten und Schnüren auf das Gerippe übertragen und gegen zu hohen inneren Überdruck bei Ausdehnung des Gases sind sie durch selbsttätige Sicherheitsventile geschützt. Von diesen Überdruckventilen mit einem Ventildurchmesser von 500 mm, deren Anordnung beispielsweise in Abb. 1 und Abb. 4 gezeigt ist, wird das ausströmende Gas durch entsprechend vorgesehene Zwischenräume zwischen den Stirnflächen je zweier Zellen zum Schiffsfirst und dort durch hutzenartige Entlüftungsöffnungen, in deren Nähe sich auch die für Manövrierzwecke bestimmten Entleerungsventile befinden, sicher ins Freie geleitet. Gegen die Einflüsse von Witterung und Sonne sind die Zellen durch die Hülle des Schiffskörpers und den zwischen ihnen und dieser freigehaltenen Luftzwischenraum geschützt.

Die Schiffskörperhülle besteht aus Baumwollstoff, der in einzelnen Längsbahnen aufgebracht und am Gerippe festgeschnürt wird. Die Stoffdicke ist verschieden und der jeweiligen Beanspruchung angepaßt. In der Nähe der Propeller sind zum Schutze der Zellen gegen abfliegende Eisstücke und ähnliches besondere Verstärkungsbahnen eingefügt. Ein mehrmaliger Cellonanstrich, unter Beimischung von Aluminiumpulver, dichtet die Hülle gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und schädlicher Bestrahlung; gleichzeitig wird sie dadurch straff und das Schiff erhält eine glatte Oberfläche, die zusammen mit der besonderen Formgebung des Schiffskörpers für möglichste Verringerung des Bewegungswiderstandes sorgt.

Ein solcher Körper geringsten Luftwiderstandes muß jedoch, wenn er sich zur Fortbewegung in bestimmter, gewollter Richtung eignen soll, gewisse Stabilitätseigenschaften aufweisen, die er an sich noch nicht hat und die ihm durch besondere Einrichtungen erst gegeben werden müssen. Diesem Zwecke dienen das Höhen- und Seitenleitwerk, das je aus einem festen, wagerecht bzw. senkrecht im Heck angebauten Flächenpaar mit sich dahinter anschließenden beweglichen Ruderflächen besteht. Dem bei jeder ungewollten Kursstörung auftretenden, die eingeleitete Kursabweichung zu vergrößern strebenden Labilitätsmoment des leitwerklosen Schiffskörpers wird durch diese



des LZ 126. 1 : 60.

Abb. 14. Querschnitt hinter dem Kühler (von vorn gesehen).

Abb. 15. Backbord-Seitengondel mit eingebautem 400 PS-Maybachmotor (Einstieg in das Schiff). Gondelverkleidung abgenommen.

Flächen ein bestimmtes rückführendes Moment entgegengesetzt. Dieses Moment kann durch entsprechendes Legen der Ruder ergänzt werden, denen außer dieser Mithilfe zur Kurshaltung noch selbstverständlich die weitere Aufgabe der Einstellung eines neuen Kurses zufällt. Um die Ruder von der Führergondel aus leicht einstellen zu können, können sie mit einem Ausgleich versehen sein, wie er beispielsweise bei den Höhenrudern aus der Umrißlinie des Grundrisses, Abb. 10, zu erkennen ist. Das gesamte Leitwerk ist wie das Schiffskörpergerippe selbst aus Duraluminträgern als nahezu freitragendes Gebilde konstruiert und mit Stoff bespannt. Die körperlich gebauten, festen Führungsflächen sind begehbar und sind mit Rücksicht auf möglichst geringen Widerstand außen nur ganz wenig verspannt, Abb. 27.

Am Schiffskörper ebenfalls unmittelbar angebaut ist ferner die Führer- und Fahrgastgondel, die sich unterhalb des Schiffskörpers im Bugteil befindet. Auch sie hat einheitliche Stromlinienform. Sie ist aus Trägern konstruiert und mit Stoff bespannt, Abb. 1, 2 und 19.

Während bei der Fahrgastgondel allein von einer zusammengefaßten Lastanordnung gesprochen werden kann, sind alle übrigen Lasten und Einrichtungen ähnlich der Verteilung der Auftriebkräfte über die Schiffslänge hin verteilt angeordnet. Soweit nicht besondere Gründe für eine Anordnung außerhalb des Schiffskörpers sprechen, sind sie innerhalb der Schiffsaußenhülle in dem von den einzelnen Zellen freigelassenen Kielgerüst des Laufganges untergebracht, und zwar die schwereren in der Nähe der verspannten Hauptringe, welche die entstehenden Kräfte nach dem oberen Teil des Schiffes unmittelbar zu übertragen imstande sind. Außer der Führer- und Fahrgastgondel, die, soweit es die Ausblickmöglichkeit erfordert, aus dem Schiffskörper herausragt, ist nur die

Maschinenanlage

außerhalb, und zwar vollständig im freien Luftstrahl des Fahrtwindes angeordnet. Diese umfaßt für die Erzeugung der zur Fortbewegung des Schiffes nötigen Leistung fünf voneinander

getrennte und unabhängige Einheiten, die je aus einem Motor mit unmittelbar angetriebener Luftschraube bestehen und je in einer besonderen Maschinengondel untergebracht sind, Abb. 11 bis 15. Von diesen Maschinengondeln, die aus Duraluminträgern mit unterer, mittragender Blechhautkonstruiert sind, befindet sich eine im Heckteil unterhalb des Schiffes, die übrigen vier sind im Schiffsmittelteil paarweise zu beiden Seiten des Schiffskörpers mit Hilfe von Seilen und Streben aufgehängt. Sie bieten genügend Platz für eine bequeme Bedienung der Motoren und auch für solche Ausbesserungen, wie sie während der Fahrt notwendig und ausführbar sein können. Vom Schiffsinnern aus sind sie durch Luken mit Schiebeverschluß und über Leitern zugänglich, die beim Nichtgebrauch zwecks Widerstandverminderung zusammengeklappt werden.

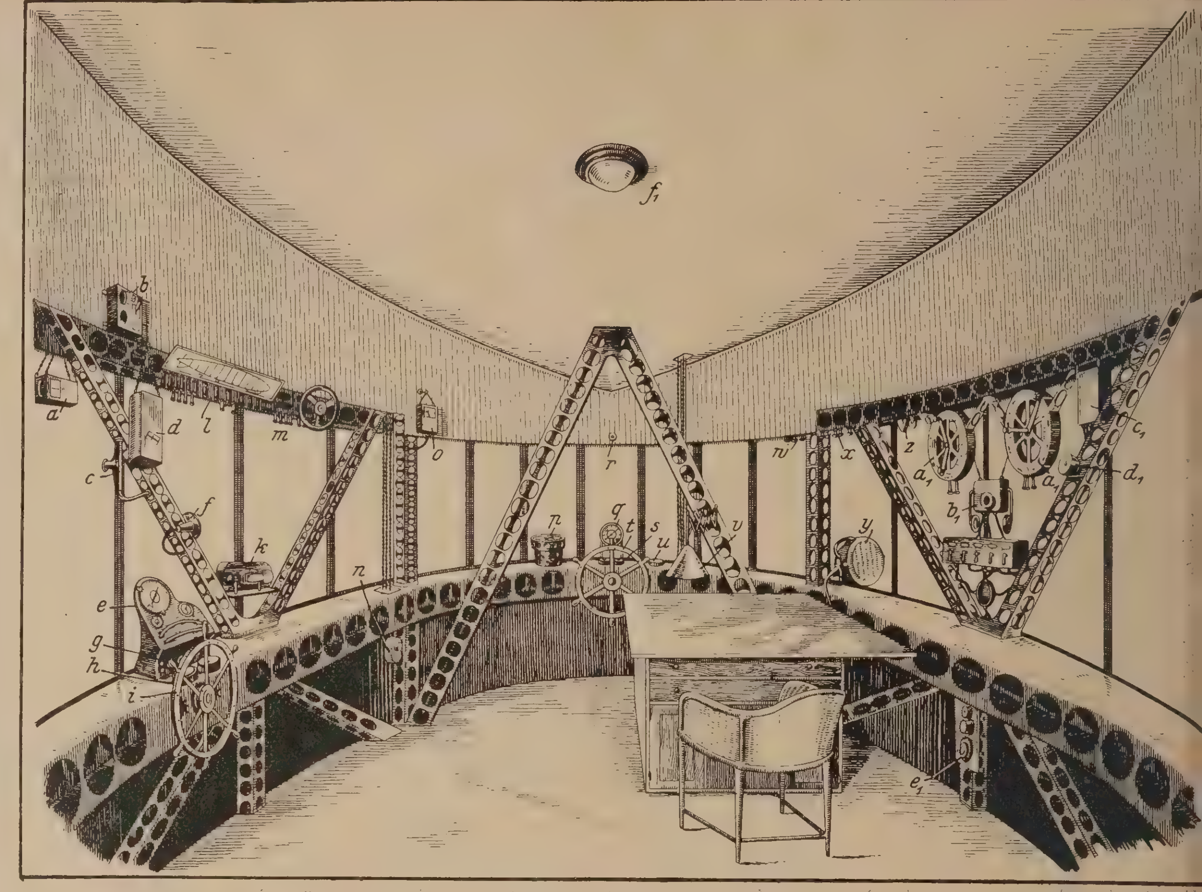


Abb. 16. Führerstand.

a Barograph
b Fesselkraftanzeiger
c Luftthermometer
d Variometer
e Instrumentenhalter f. Aneroid, Stoppuhr u. 2 Neigungsmesser
f Beleuchtung des Aneroids
g Prallanzeiger
h Ruderlagenanzeiger
i Ruderwinde für Höhensteuer
k Kreiselneigungsmesser
l Ballast-Schalttafel
m Gas-Schalttafel
n Handlampe
o Gas-Fernthermometer
p Magnetkompas
q Tochter-Kreiselkompaß
r Bordlicht
s Ruderlagenanzeiger
t Ruderwinde für Seitensteuer
u Resultierender Ruderlagenanzeiger
v Kartentisch-Beleuchtung
w Auslösung für Mastlandetaue
x Auslösung für Landungstaue
y Scheinwerfer mit Morsevorrichtung
z Signalglocke
a_1 Maschinentelegraphen
b_1 Lautsprecher mit Linienwähler
c_1 Verteiler für Telephon
d_1 Fahrtgeschwindigkeitsmesser
e_1 Anlasser für Scheinwerfer
f_1 Gondelbeleuchtung

Die Motoren neuer Bauart, die für LZ 126 verwandt werden, sind Reihenstandsmotoren der Firma Maybach-Motorenbau G. m. b. H., Friedrichshafen, mit 2×6 in V-Form angeordneten wassergekühlten Zylindern, Abb. 11 bis 15. Bei ihrem Entwurf waren Betriebsicherheit und Zuverlässigkeit auch bei langem und angestrengtem Fahrdienst in erster Linie maßgebend. Ihre Nennleistung beträgt 400 PS bei einer Drehzahl von 1400 Uml./min, so daß sich noch unmittelbarer Antrieb der Propeller bei annehmbarem Wirkungsgrad anwenden ließ und sich Untersetzungsgetriebe infolgedessen erübrigten.

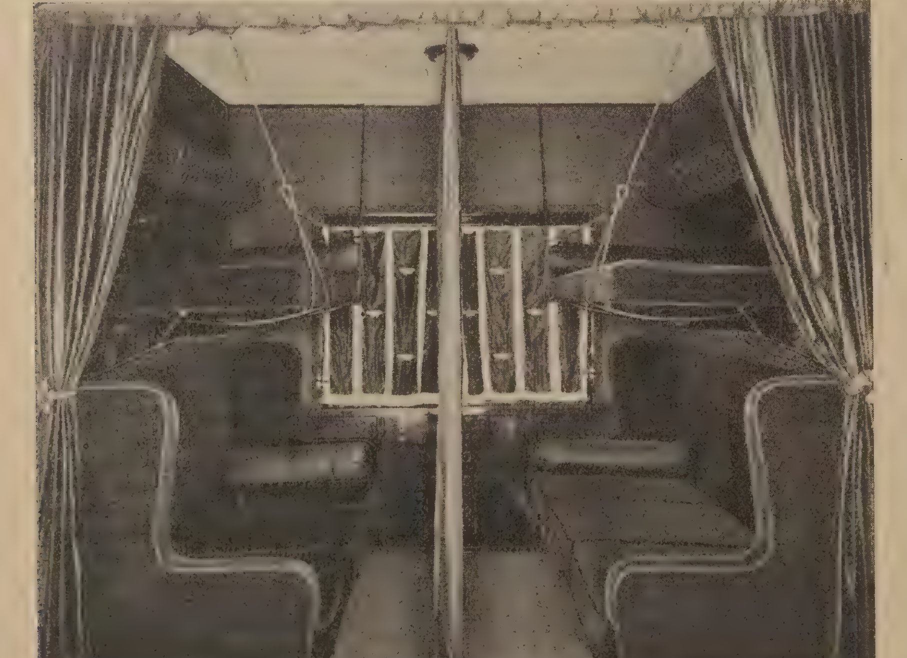


Abb. 17. Fahrgastraum, eine zum Schlafen hergerichtete Abteilung, in der Mitte Vorhang.

Diese Maybach-Motoren sind für den Betrieb mit Benzin eingerichtet und haben als besonders zu erwähnende Neuerungen Rollenlagerung der Kurbelwelle und Kolbenstangen sowie Umsteuereinrichtung mit Hilfe von Druckluft, die auch zum Anlassen benutzt wird. Der Antrieb der für sämtliche Zylinder gemeinsamen Steuerwelle sowie der Nebenapparate erfolgt vom schwingungsfreien Antriebende der Kurbelwelle aus, wo sich ein Schwungrad befindet, von dem aus über eine elastische und eine ausrückbare Kupplung und über eine Zwischenwelle die Kraft zum Propeller übertragen wird. Auf der Bedienungsseite befindet sich nur der ausrückbare Luftverdichter. Alle Bedienungsorgane verriegeln sich gegenseitig, so daß eine falsche Handhabung ausgeschlossen ist.

Die Luftschrauben.

Die Schrauben sind zweiflügelige Holzluftschrauben, die, am Gondelende sitzend, als Druckschrauben wirken. Die Gondeln sind so angeordnet, daß sich die Projektionen der Schraubenkreise nicht berühren, Abb. 1 und 10. Zum Schutze gegen die Einflüsse von Wasser und gegen sonstige Beschädigungen sind die Eintrittkanten und Flügelenden mit Beschlägen aus Aluminiumblech versehen.

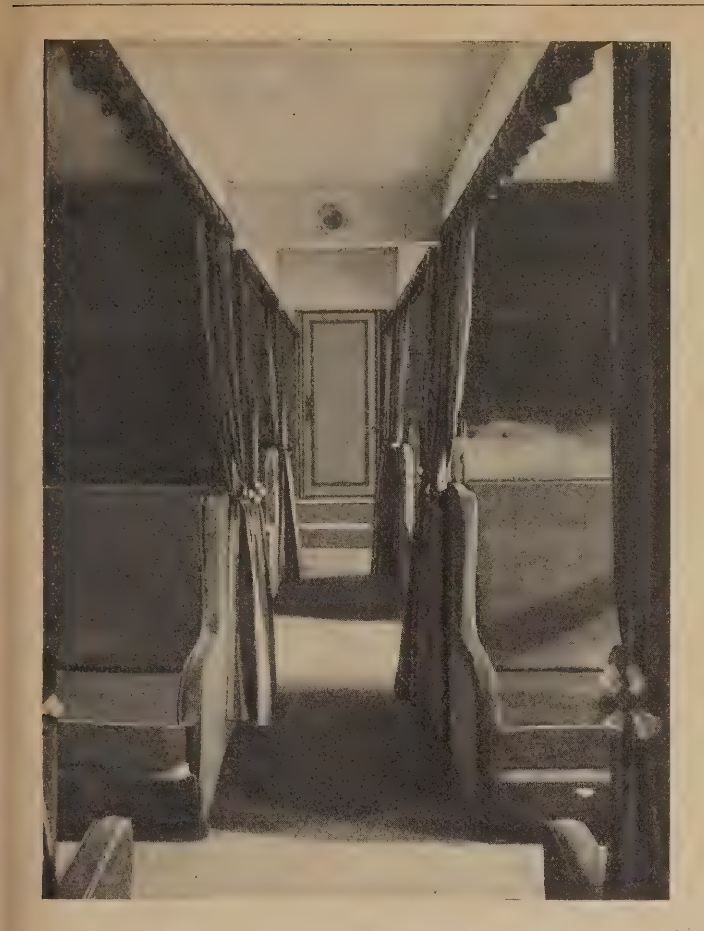


Abb. 18. Fahrgastraum, Blick vom Mittelgang nach vorne. Die Tür führt nach dem Führerraum.

Die Benzinanlage.

Der Betriebstoffvorrat ist im Schiffsinnern untergebracht, wo im Laufgang bei normal ausgerüstetem Schiff 70 Benzinbehälter eingebaut sind, deren Zahl für besonders lange Fahrten, z. B. die Überführungsfahrt über den Atlantischen Ozean, auf 100 erhöht werden kann. Diese Benzinbehälter sind Aluminiumfässer mit zylindrischem Mittelteil und halbkugelförmigen Böden, die teils fest, teils slipbar in Gruppen von je dreien zu beiden Seiten der Laufplanke an den Firstträgern des Laufganges mittels Drähte aufgehängt sind. In der Nähe jeder Maschinengondel ist je eine Gruppe solcher Fässer für die unmittelbare Benzinentnahme der Motoren vorgesehen. Diese Betriebfässer sind so gelegt, daß das Benzin unter natürlichem Gefälle den Motoren zufließen kann, und werden von den Vorratfässern durch eine unterhalb der Laufplanke verlegte Umpumpleitung mit Hilfe besonderer, vom Fahrtwind angetriebener Pumpen entsprechend dem laufenden Bedarf nachgefüllt, Abb. 22 und 28.

Der erforderliche Vorrat an Schmieröl ist ebenfalls im Laufgang in fünf Aluminiumfässern von je 420 l Fassungsvermögen untergebracht.

Ballastanlage.

An weiteren Betriebseinrichtungen enthält der Laufgang die Behältnisse zur Mitnahme von Reserveteilen für die Maschinenanlage und die Behälter für Ballast, deren Verteilung, wie überhaupt die Gesamteinteilung der Laufgangeinrichtung in Abb. 10 dargestellt ist. Die Ballastbehälter scheiden sich in zwei Hauptarten, in solche zur Aufnahme von Landungsballast und in solche für Fahrtballast. Ihr Unterscheidungsmerkmal liegt in der Art der Entleerungsmöglichkeit, indem die erforderlichen Mengen für energische Gewichts- und Trimmänderungen des Schiffes, wie sie bei Landungen nötig werden, plötzlich abwerfbar sein müssen, während die Ballastabgabe für Höhenänderungen während der Fahrt langsam erfolgen kann.

Die Behälter für Landungsballast bestehen dementsprechend aus sackartigen Behältern, die unten in hosenbeinartige Schläuche endigen, die beim Entleeren aus der hochgezogenen Lage nach unten fallen und den ganzen Inhalt in kürzester Zeit freigeben. Nach ihrer Zweckbestimmung sind sie Ballasthosen be-

Die Kühler.

Das Motorkühlwasser wird in einem im Bug der Maschinengondel eingebauten Lamellenkühler rückgekühlt, dem die Luft durch eine regelbare Düse zugeführt wird, während die Luft durch die Gondel hindurch nach rückwärts abgeführt wird. Die Auspuffgase jeder Zylinderreihe werden je durch ein gesondertes luftgekühltes Auspuffrohr, worin sich der Auspuff durch Düsenwirkung die zur Kühlung erforderliche Luft selbst herholt, durch den Gondelboden hindurch nach unten ins Freie geleitet.

Außer den für den Betrieb der Motoren erforderlichen Einrichtungen und Meßgeräten enthält jede Gondel noch einen Ölbehälter, einen Reservekühlbehälter und zwei Druckluftbehälter zum Aufspeichern der für das Anlassen und Umsteuern der Motoren erforderlichen Druckluft.

Abb. 1, 5, 6, 7 und 10 zeigen die Gesamtanordnung und die Lage der einzelnen Maschinengondeln, Abb. 11 bis 14 eine Gondel des hinteren Seitengondelpaares. Außer der Anordnung des Motors mit Triebwerk und Propeller lassen diese Abbildungen insbesondere die Anordnung des Kühlers mit Düse, die Anlage der Betriebstoffzuführung und den Zugang vom Laufgang aus erkennen.

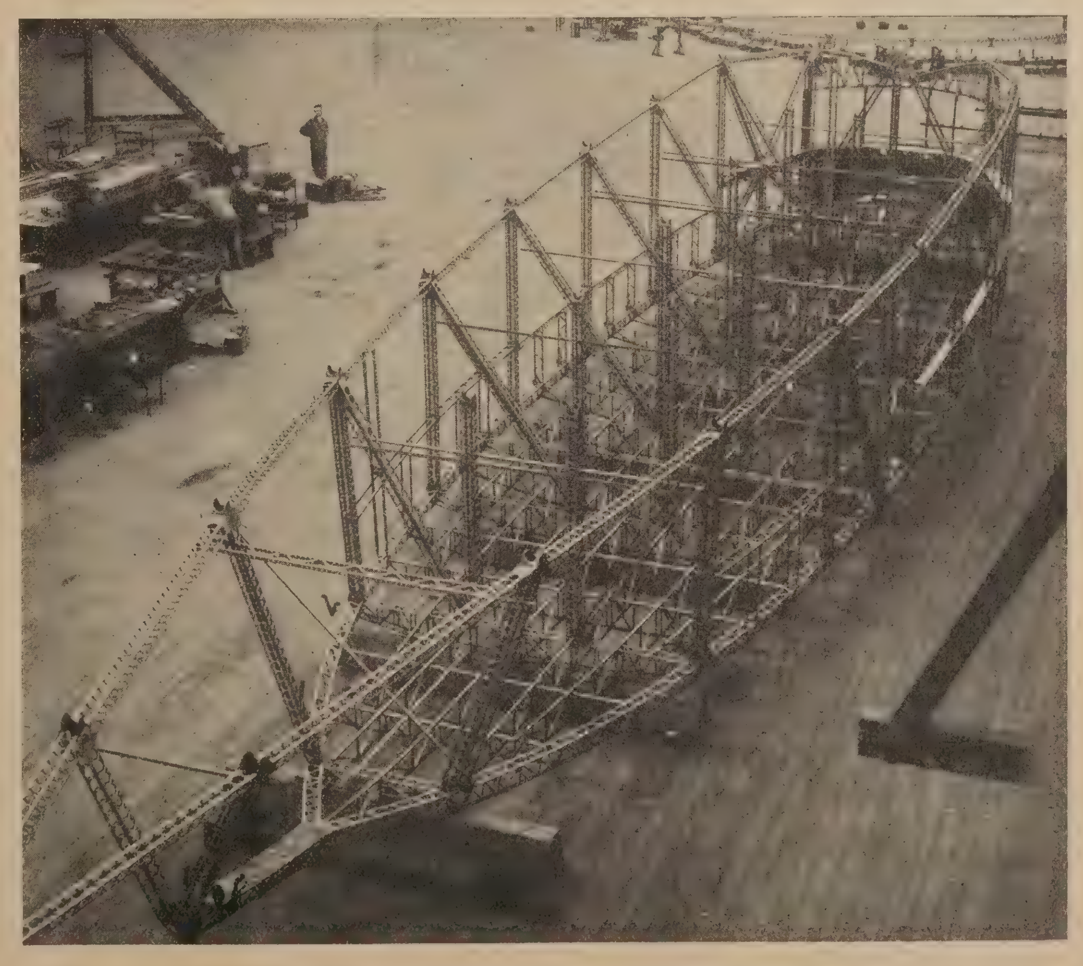


Abb. 19. Gerippe der Führer- und Fahrgastgondel.

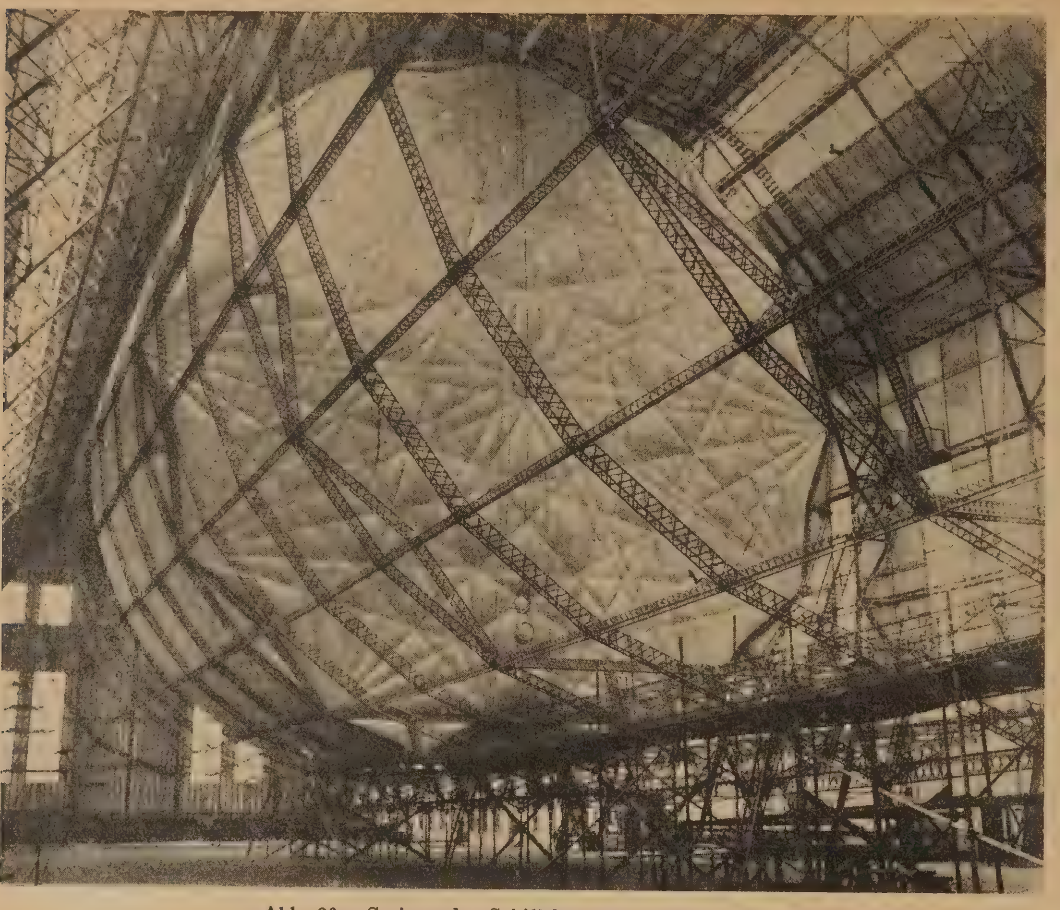


Abb. 20. Gerippe des Schiffskörpers mit Probezelle.

nannt und aus Gründen einer guten Trimmänderungswirkung an weit vom Antriebmittelpunkt entfernten Stellen im Bug und Heck angeordnet, Abb. 1 und 10. Ihre Gesamtzahl beträgt zwölf, bei einem Inhalt von je 250 l.

Die Behälter für Fahrtballast dagegen sind einfache Ballastsäcke, die wie die Ballasthosen aus dreifach gummiertem Stoff hergestellt sind, und haben als Entleervorrichtung Ventile. Sie sind in geeigneter Weise über die Schiffslänge hin verteilt und paarweise zu beiden Seiten der Laufplanke angeordnet. Ihr Fassungsvermögen beträgt je 1000 l. Für die Abführung des Wassers nach außen dienen Abflußleitungen aus Stoffschläuchen mit Aluminiumkrümmern, deren Austritt jeweils so gelegt ist, daß in der Nähe befindliche Gondeln von Spritzwasser freibleiben. Aus diesem Grunde sind auch die vorderen Ballasthosengruppen mit Rücksicht auf die Führergondel in einem gewissen Abstand von der Schiffsmitte aufgehängt. Die gesamte Ballastanlage wird von der im Bugteil des Schiffskörpers angebauten Führergondel aus betätigt.

Die Führergondel

ist die zentrale Betätigungsstelle für sämtliche zur Navigation des Schiffes erforderlichen Einrichtungen. Die hierfür nötigen Vorrichtungen, Apparate und Meßgeräte sind in ihrer Anlage in der perspektivischen Innenansicht des Führerraumes, Abb. 16, dargestellt. Zahlreiche, zum Teil herausnehmbare Fenster ermöglichen einen guten Ausblick nach allen Richtungen. Mit dem Laufgang steht die Führergondel durch eine Leiter in Verbindung; zur anschließenden Fahrgastgondel führt eine Tür.

Die Geräte für die Seiten- oder Kursnavigierung und diejenigen für die Höhennavigierung sind sowohl hinsichtlich örtlicher Anordnung, wie auch in bezug auf Bedienung voneinander getrennt. Der Seitensteuerstand mit Kompaßanlage befindet sich im Bug der Führergondel, der Höhensteuerstand und die Gas- und Ballastschalttafel mit den Anzeigegeräten für Fahrthöhe, Höhenänderung, Schiffsschräglage und Gas- und Lufttemperatur sind auf Backbordseite und die Telegraphen für die Befehlübermittlung nach den Maschinengondeln sowie die Telephonanlage nach dem Laufgang auf Steuerbordseite angeordnet, wo sich auch der Kartentisch befindet. Die Steuerstände bestehen jeweils aus einer Ruderwinde mit Handrad, mit deren Hilfe unter Zwischenschalten eines Kettengetriebes über die im Laufgang verlegten Drahtseilzüge die einzelnen Ruderflächen bewegt werden können. Eine Kupplungseinrichtung gestattet die wahlweise, getrennte oder gemeinsame Betätigung der zusammengehörigen Ruderflächen unter Benutzung beider oder auch nur eines der Zügepaare.

Des weiteren sind für den Notfall in der unteren Führungsfläche Hilfsruderstände eingebaut, wohin vom Einstieg in die Führergondel bzw. die hintere Maschinengondel aus durch einen Steuertelegraphen die nötigen Anweisungen erteilt werden können. Für jedes Ruder ist an den Hauptsteuerständen ein besonderer Ruderlagenanzeiger vorgesehen. Als wesentlichstes Hilfsmittel für die Kursnavigierung dient wie beim Seeschiff der Kompaß, an den jedoch beim Luftschiff insbesondere hinsichtlich Schleppfreiheit höhere Anforderungen gestellt werden müssen. LZ 126 hat zum erstenmal eine Dreikreisel-Kompaßanlage von Anschütz erhalten. Der Mutterkompaß ist in einem leichten mit Helium gefüllten Aluminiumgehäuse eingeschlossen, das auf Steuerbordseite neben dem Seitensteuer aufgestellt wird, und ein Tochterkompaß mit Innenrose zeigt jede kleinste Bewegung ($^1/_{10}$ °) des Schiffes sofort an und ermöglicht dem Steuermann, jeden Versuch des Schiffes, aus dem eingestellten Kurs zu

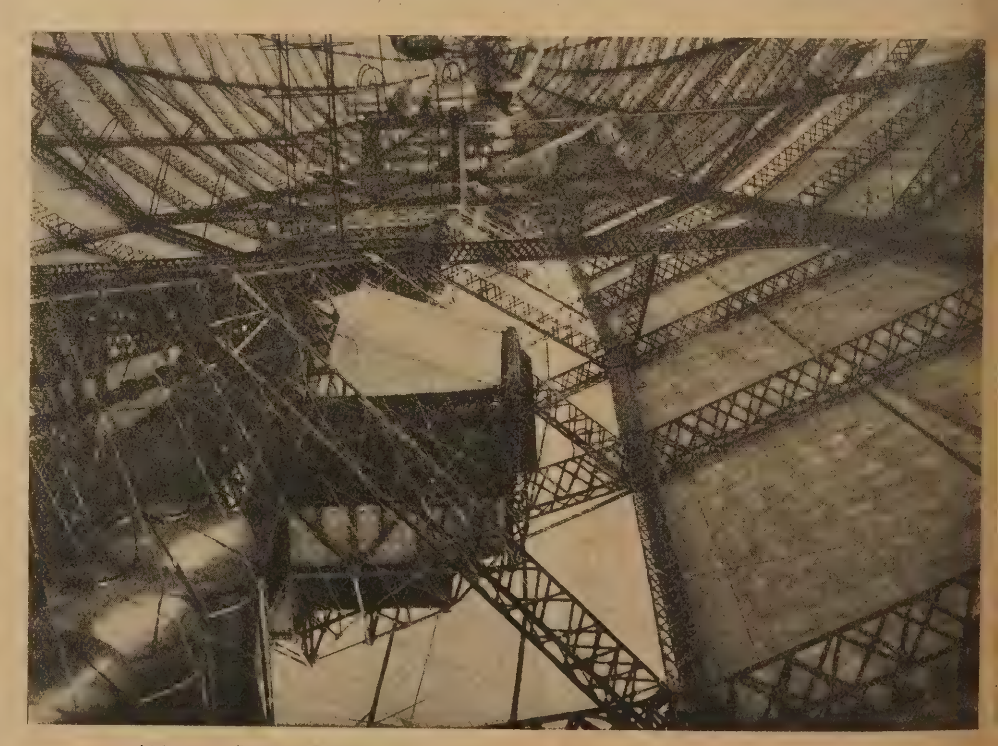


Abb. 21. Innenaufnahme, im Vordergrund Aufenthaltsraum für Besatzung.

laufen, sofort und ohne Anwendung großer Ruderkräfte zu vereiteln.

Der Höhennavigation stehen zur Erfüllung ihrer Aufgabe, der Einstellung und Einhaltung einer bestimmten Fahrthöhe die Mittel der statischen und dynamischen Beeinflussung der Auftriebverhältnisse des Schiffes zu Gebote. Da sich die statischen Auftriebverhältnisse aus dem Gewicht des Schiffes einerseits und anderseits aus den Druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft und des Gases sowie seiner Menge und Beschaffenheit ergeben, so ist ihre Beeinflussung durch Abgabe von Ballast beziehungsweise Traggas möglich. Die Ballastabgabe geschieht mit Hilfe der Ballastsackventile und durch Leeren der Ballasthosen, die Abgabe von Traggas durch absichtliches Übersteigen der Prallhöhe und dadurch herbeigeführtes Abblasen der Überdruckventile oder durch Ziehen der für das Manövrieren insbesondere bei der Landung vorgesehenen besonderen Entleerungsventile. Die hierfür erforderlichen Züge endigen an der über dem Höhensteuerstand bequem erreichbar angeordneten Gas- und Ballastschalttafel, wo sie durch Griffe betätigt werden können, die sinnfällig unter einem Schiffsbild angeordnet sind. Für die Gaszüge ist die Einrichtung getroffen, daß sie nicht nur einzeln, sondern auch wahlweise gemeinsam und in Gruppen gezogen werden können. Die Auftriebänderung auf dynamischem Wege geschieht durch die Änderung des Anstellwinkels der Schiffskörperachse zum Fahrtwind, was entweder durch statische Vertrimmung oder durch Höhenruderlegen bewirkt werden kann. Die bei Anstellung des Schiffes entstehende Querkraft äußert sich als dynamischer Auftrieb beziehungsweise Abtrieb, je nachdem die Anstellung positiv oder negativ ist, das Schiff also bugaufwärts oder bugabwärts fährt. Man ist dadurch in der Lage, das Schiff auch außerhalb der statischen Gleichgewichtshöhe zu halten und gegebenenfalls gestattet der dynamische Auftrieb, die statische Gipfelhöhe zu übersteigen.

Die hauptsächlichsten Meßgeräte, deren der Höhensteuermann bedarf, sind das Aneroid zur Bestimmung der Fahrthöhe nebst einem Höhenschreiber, das Variometer zur Anzeige der Höhenänderung in der Zeiteinheit, ein Libellenanzeigegerät zur Erkennung der Schiffsschräglage und die Luft- und Gasthermometer. Die Erreichung der Prallhöhe, in der das Schiff Gas zu verlieren beginnt, wird auf elektrischem Wege durch den Prallanzeiger optisch und akustisch signalisiert. Für die Messung der Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes relativ zur umgebenden Luft dient das Schalenkreuz-Anemometer und das Pitotrohr mit Manometer. Für Peilung ist in der Führergondel und im Heck der Fahrgastgondel Gelegenheit vorgesehen, und zum Zwecke astronomischer Beobachtungen kann der Schiffsfirst durch einen Schacht im Hauptring bei der Fahrgastgondel bestiegen werden.

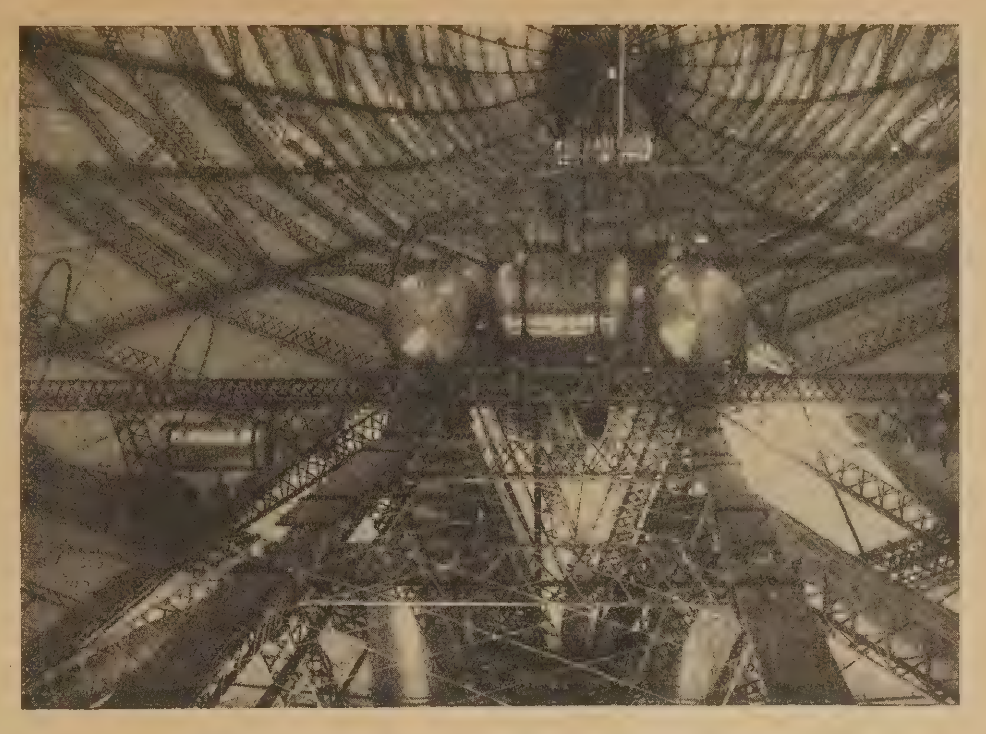


Abb. 23. Innenaufnahme, im Vordergrund Benzinfaß-Lagerung.

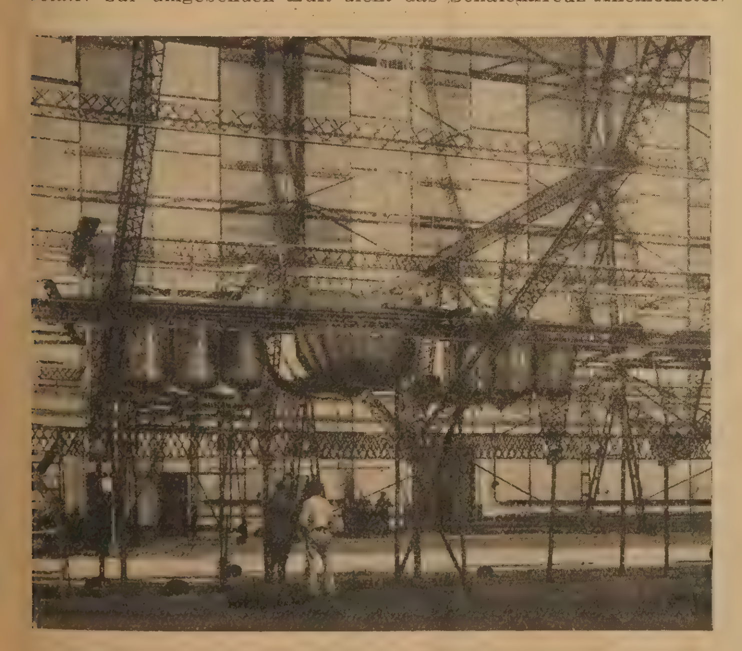


Abb. 22. Gerippeansicht, Ballast- und Benzintank-Anordnung.

Maschinentelegraphen.

Die Befehle nach den Maschinengondeln werden durch mechanische Maschinentelegraphen übermittelt und für den Verkehr mit den Mannschaftsräumen und dem Anker- und Mastfesselpunkt im Laufgang ist eine lautsprechende Telephonanlage mit Linienwähler in der Führergondel vorgesehen. Alle Züge und Leitungen sind im Laufgang übersichtlich und leicht zugänglich verlegt.

FT-Kabine.

Die funkentelegraphische Ausrüstung, Abb. 29, ist in einer schalldichten Kabine mit Druckbelüftung, die sich auf Backbordseite an die Führergondel anschließt, untergebracht, Abb. 1. Sie besteht aus einem Telefunken-Zwischenkreisröhrensender von 200 W Antennen-Energie, der für einen stetigen Wellenbereich von 500 bis 3000 sowie für wahlweises Arbeiten auf drei Energiestufen eingerichtet ist und eine größte Reichweite bei ungedämpftem Senden von 2500 km und bei Tonsenden und Telephonie von 500 km zuläßt. Als Empfangsanlage sind zwei Audiongeräte in Sekundärschaltung nebst einem Zweiröhren-Niederfrequenz-Verstärker, benutzbar für alle Wellen von 300 bis 20 000 m, eingebaut. Als Antenne dient eine dreistrahlige Fächerantenne, deren Drähte von je 120 m Länge unter Gewichtsbelastung einzeln oder gemeinsam beliebig ausgegeben werden können. Für Navigationszwecke ist außerdem ein Telefunken-Bordpeiler mit drehbarer Rahmenantenne und ein Richtungsfinder mit kreuzweise über den Schiffskörper gelegten Drahtschlaufen vorgesehen. Der Strom wird erzeugt durch einen außerhalb der Funkkabine schwenkbar angeordneten Eisenmanschen Gleichstrom- und Einphasenwechselstrom-Generator von 1200 W gleichstromseitiger und 1500 W wechselstromseitiger Leistung mit gemeinsamem Antrieb durch einen Windmotor vom Fahrtwind aus. Eine zweite Maschine gleicher Bauart ist im Schiff in Reserve vorgesehen, und beide können mit der in Parallelschaltung zum Gleichstromgenerator liegenden 12zelligen Akkumulatorenbatterie von 60 Ah Kapazität als Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer für einen Notbetrieb benutzt werden.

Die Gleichstromseite dieses Maschinensatzes liefert den Strom von 24 V Spannung für die

elektrische Beleuchtungsanlage

des Schiffes. Die Hauptschalttafel, die sich in der Funkkabine befindet, enthält Spannungs- und Strommesser, Anlasser für den Umformerbetrieb, Isolationsprüfer, die Schalter und Sicherungen für die sieben Stromkreise und den automatischen Reglerapparaten, bestehend aus selbsttätigem Schalter sowie Strom- und

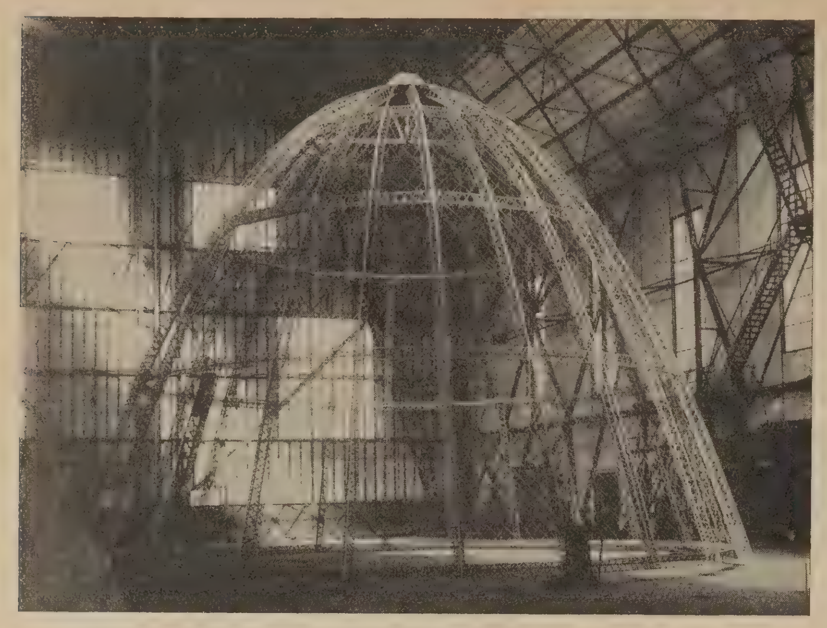


Abb. 24. Bugkappe.

Spannungsregler, zur Ladestrombegrenzung, zum Überladungsschutz für die Batterie und zur Regelung des Beleuchtungsstroms bei direkter Entnahme vom Generator. Die 64 Beleuchtungsstellen des ganzen Schiffs mit Lampen von 1 bis 50 HK sind wie die Schalter usw. gas- und wasserdicht gekapselt. Als Leitungen dienen Gummischlauchleitungen in Sonderausführung. In der Führergondel ist der Anschluß für einen 1000kerzigen Scheinwerfer mit Morseeinrichtung vorgesehen. Der Wärmestrom von 110 V Spannung für die Küche wird von einem besonderen 4,5 kW-Generator mit Sonderwicklung für gleichbleibende Spannung geliefert. Ebenso hat die Kreiselkompaßanlage ihren eigenen Stromerzeuger. Der Antrieb aller dieser elektrischen Maschinen geschieht durch Windkraft mittels zwei- und sechsflügeliger luftschraubenähnlichen Windmotoren, und wenn auch diese Kraftübertragung von den Motoren über die Propeller, den Fahrtwind und die Windflügel mit ziemlich hohen Verlusten verbunden ist, so bietet ihre dadurch ermöglichte Anordnung in unmittelbarer Nähe des Verbrauchsortes doch den nicht zu unterschätzenden Vorteil eines sicheren, übersichtlichen und bequemen Betriebes und des Wegfalls langer elektrischer

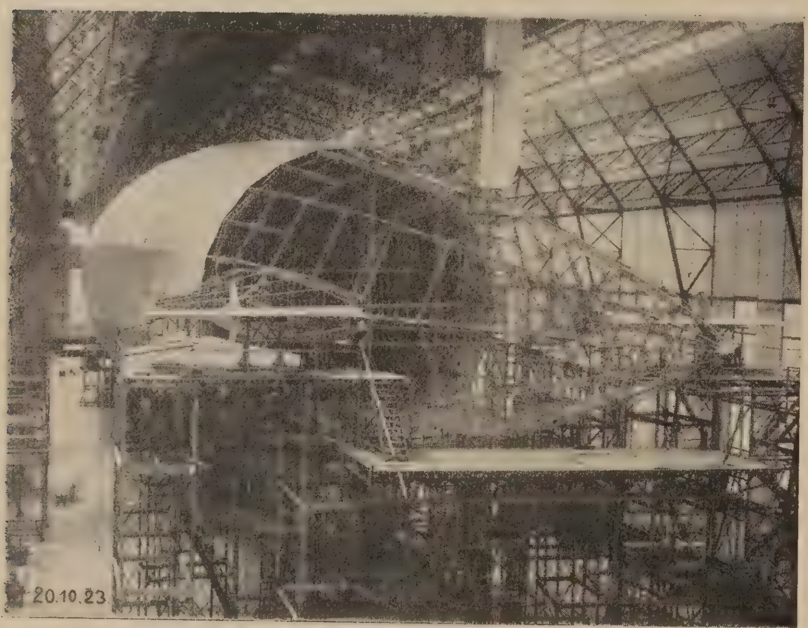


Abb. 25. Heck vor dem Überziehen.

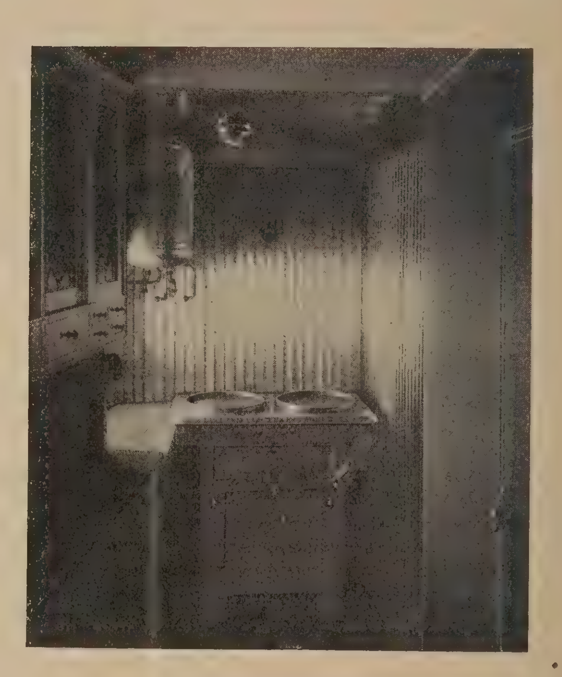


Abb. 31. Herd.

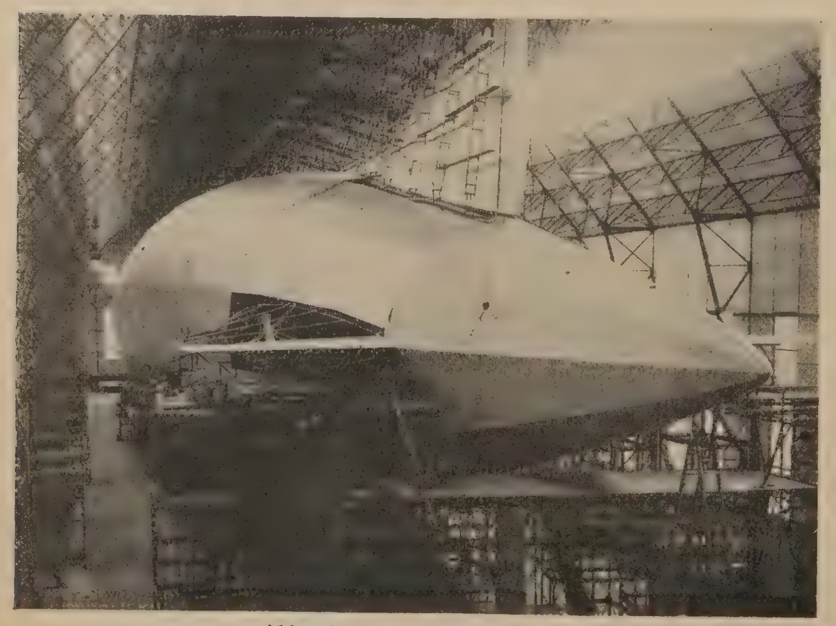


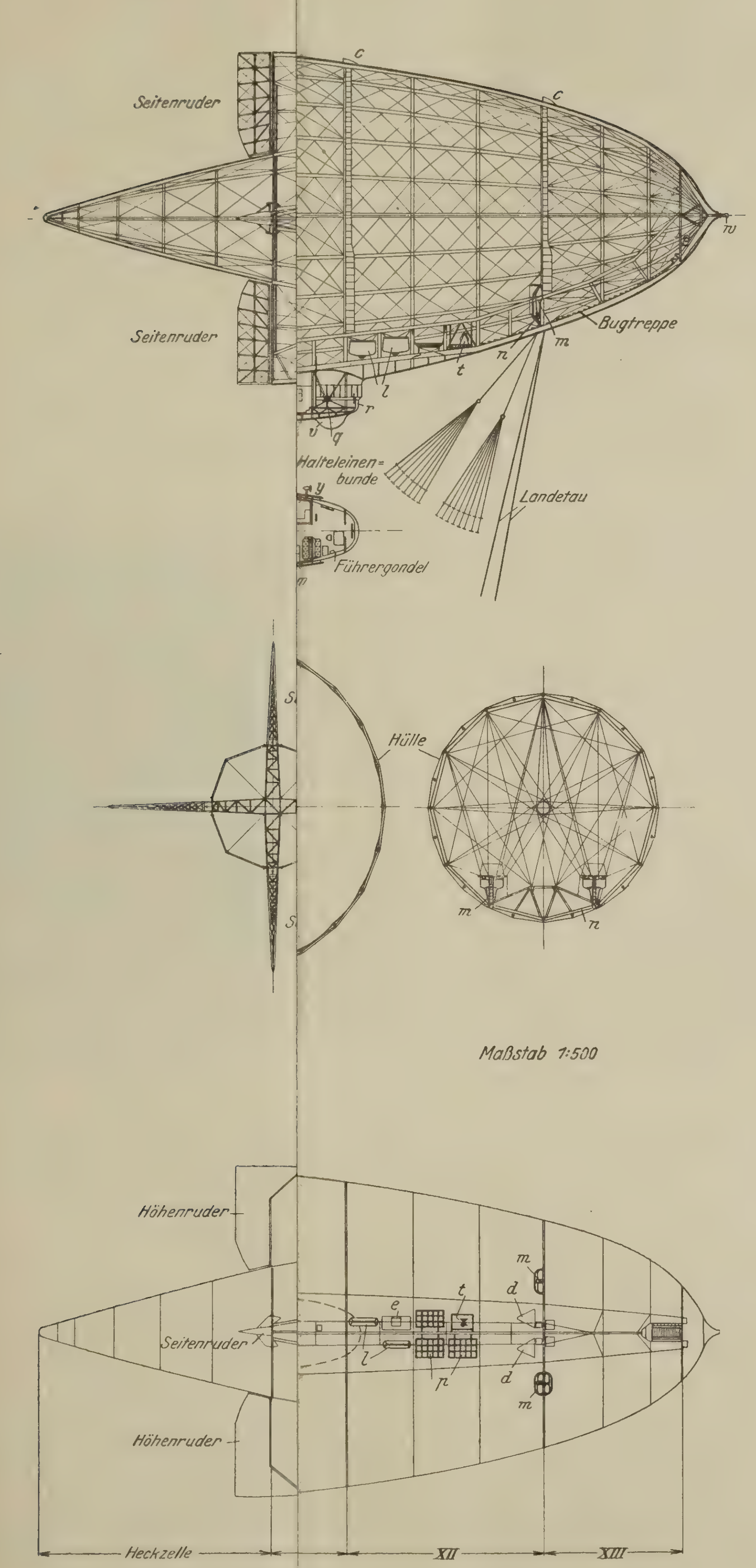
Abb. 27. Heck mit Bespannung.

Leitungen im Schiffsinnern. Sämtliche Antriebe sind für kleine Fahrt bemessen; bei rascher Fahrt können sie teilweise und bei Nichtbedarf zur Vermeidung von Leerlaufverlusten ganz eingeschwenkt werden.

Landeeinrichtungen.

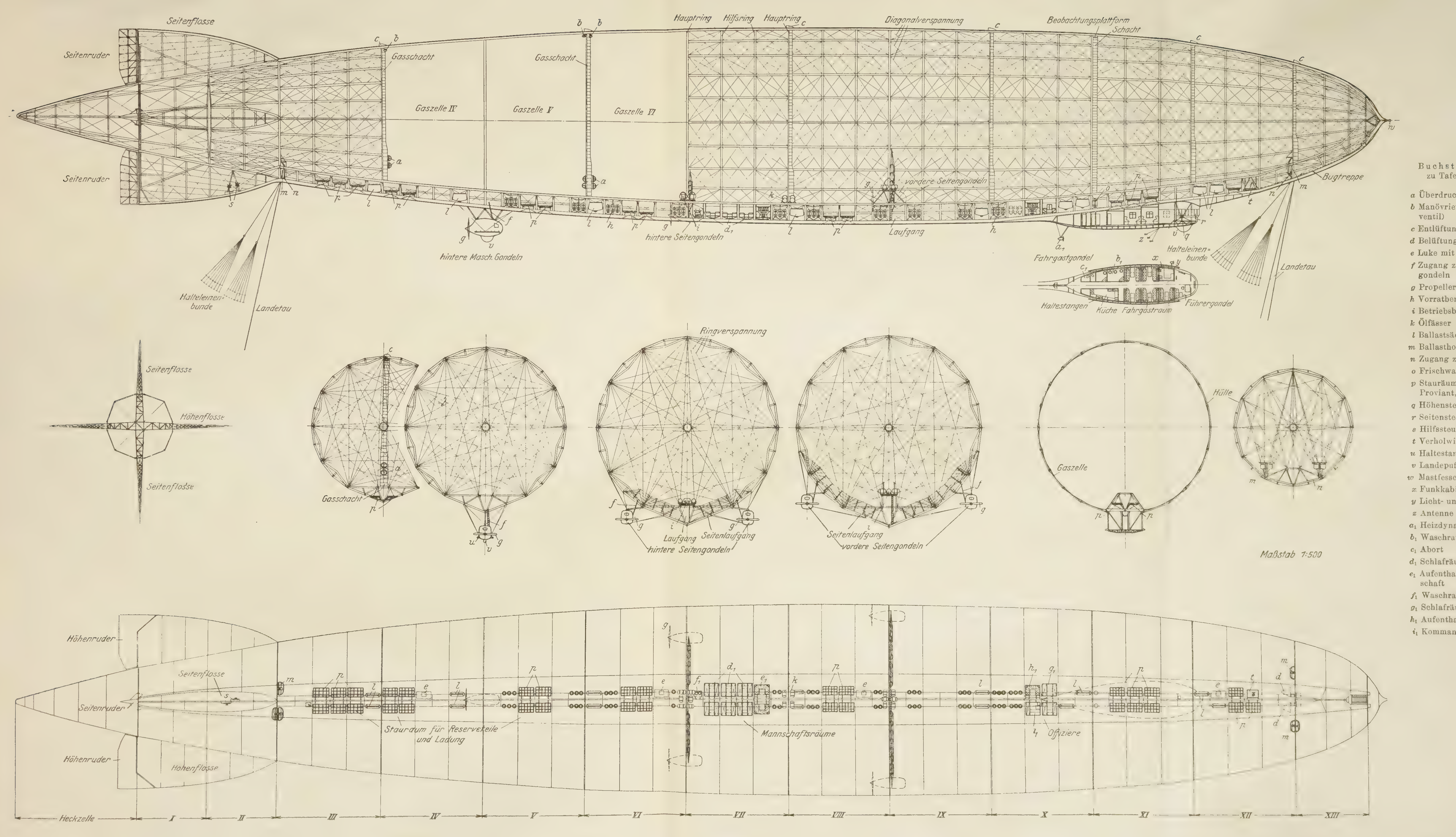
An Landeeinrichtungen sind, von der Führergondel aus abwerfbar, zwei große Landetaue am Ankerring im Bug und ein kürzeres im Heck sowie an diesen beiden Stellen Halteleinenbunde vorhanden. Die hintere Maschinengondel und die vordere Gondel, die als „Fuß" bei der Landung auf festem Boden dienen, sind mit Stoßfängern in muschelartiger Tonkingrohrkonstruktion und mit Haltestangen versehen. Für die Landung am Mast ist die Bugkappe mit Fesselgeschirr und den nötigen Verholwinden für die Landungstaue ausgerüstet, Abb. 1 und 30.

Die Aufenthaltsräume für den in Ruhe befindlichen Teil der Besatzung sind im Laufgang, für das Navigationspersonal in der Nähe der vorderen Gondel und für das Maschinenpersonal im mittleren Schiffsteil angeordnet, wie die Abbildungen 10 und 21 erkennen lassen. Sie umfassen einen Raum für den Kommandanten, zwei Doppelschlafräume und einen Aufenthaltsraum für die Offiziere und sechs Doppelschlafräume nebst zwei Aufenthaltsräumen und Wasch-



Buchstabenerklärung
zu Tafel 1 (Abb. 1 bis 10).

a Überdruckventil
b Manövrierventil (Entleerungsventil)
c Entlüftungshutze
d Belüftungsklappen
e Luke mit Schiebeverschluß
f Zugang zu den Maschinengondeln
g Propeller
h Vorratbenzinfässer
i Betriebsbenzinfässer
k Ölfässer
l Ballastsäcke
m Ballasthosen
n Zugang zu den Ballasthosen
o Frischwasserfaß
p Stauräume für Reserveteile, Proviant, Gepäck, Fracht, Post
q Höhensteuerstand
r Seitensteuerstand
s Hilfssteuerstände
t Verholwinde
u Haltestangen
v Landepuffer
w Mastfesselgerät
x Funkkabine
y Licht- und FT-Dynamo
z Antenne
a_1 Heizdynamo
b_1 Waschraum
c_1 Abort
d_1 Schlafräume der Mannschaft
e_1 Aufenthaltsräume der Mannschaft
f_1 Waschraum
g_1 Schlafräume für Offiziere
h_1 Aufenthaltsräume für Offiziere
i_1 Kommandantenraum



Buchstabenerklärung
zu Tafel 1 (Abb. 1 bis 10).

a Überdruckventil
b Manövrierventil (Entleerungsventil)
c Entlüftungshutze
d Belüftungsklappen
e Luke mit Schiebeverschluß
f Zugang zu den Maschinengondeln
g Propeller
h Vorratbenzinfässer
i Betriebsbenzinfässer
k Ölfässer
l Ballastsäcke
m Ballasthosen
n Zugang zu den Ballasthosen
o Frischwasserfaß
p Stauräume für Reserveteile, Proviant, Gepäck, Fracht, Post
q Höhensteuerstand
r Seitensteuerstand
s Hilfssteuerstände
t Verholwinde
u Haltestangen
v Landepuffer
w Mastfesselgerät
x Funkkabine
y Licht- und FT-Dynamo
z Antenne
a_1 Heizdynamo
b_1 Waschraum
c_1 Abort
d_1 Schlafräume der Mannschaft
e_1 Aufenthaltsräume der Mannschaft
f_1 Waschraum
g_1 Schlafräume für Offiziere
h_1 Aufenthaltsräume für Offiziere
i_1 Kommandantenraum

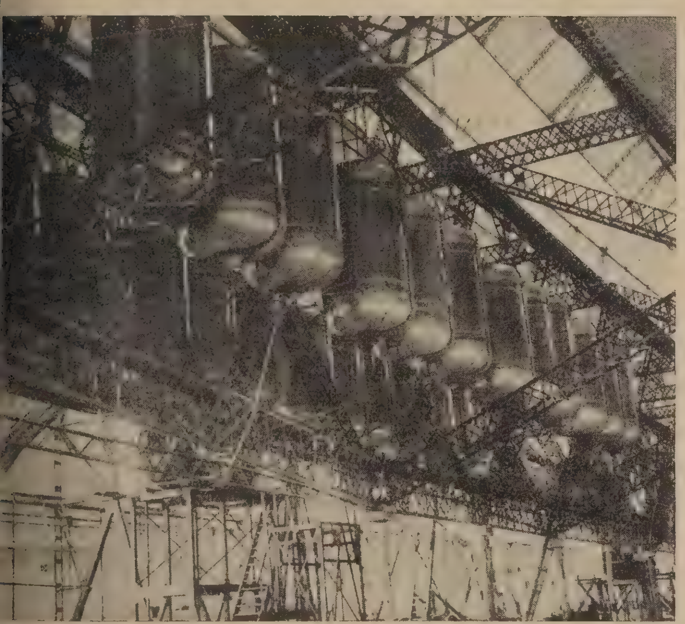


Abb. 26 (oben): Eckverbindung von Längs- und Ringträgern.

Abb. 28 (Mitte links): Eine Benzintank-Batterie im Laufgang.

Abb. 29 (Mitte rechts): Kabine für die Funkentelegraphie.

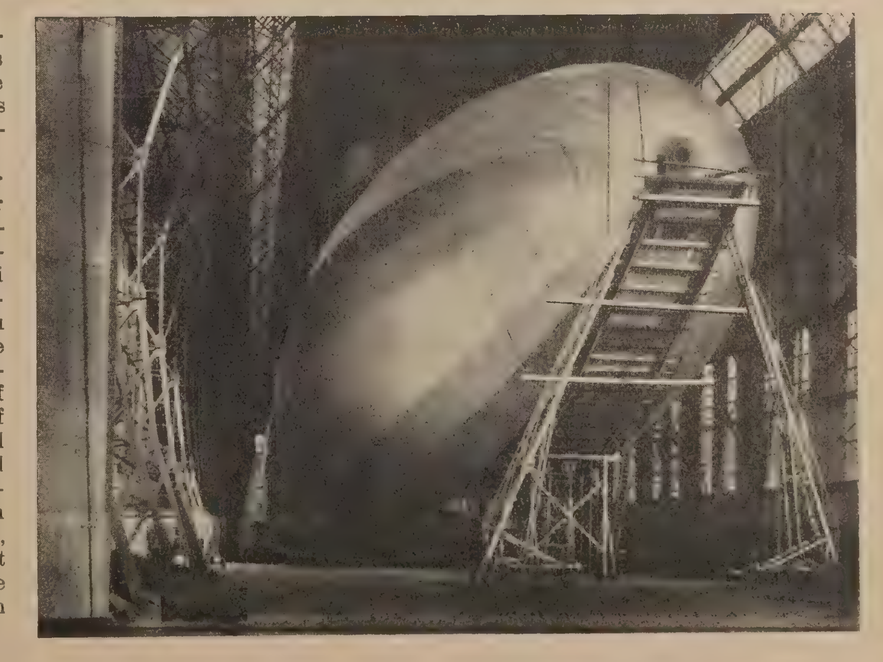
Abb. 30 (unten): Ansicht des Bugs.





raum für die Mannschaften. Die Laderäume für Proviant, Post, Gepäck und Fracht befinden sich ebenfalls im Laufgang an einer größeren Anzahl Stellen über die Schiffslänge hin verteilt. Ihre Lage ist ebenfalls aus Längsriß und Grundriß, Abb. 1 und 10, zu erkennen.

Die Räume für die Fahrgäste sind alle in der Fahrgastgondel angeordnet. Zuvorderst, unmittelbar hinter der Führergondel und der Funkkabine, befinden sich fünf Aufenthaltsräume mit Sitz- und Schlafeinrichtung nach Art eines Pullmannwagens. Bei Tag- und Nachtfahrten bieten sie 20 Fahrgästen bequem Platz, während für kürzere Fahrten bis zu 30 Fahrgäste untergebracht werden können. Große Fenster gewähren den Fahrgästen einen guten Ausblick. Hinter die Aufenthaltsräume reihen sich auf Backbordseite die Waschräume und Aborte, auf Steuerbordseite die Speisenausgabe, die Küche und ein Stauraum an. Der nötige Nutzwasservorrat wird in Aluminiumfässern unmittelbar oberhalb im Laufgang mitgeführt. Die Küche ist mit einem elektrischen Herd mit zwei Kochplatten mit Temperaturbegrenzung, mit Back- und Bratrohr und Wärmeraum sowie mit einem Warmwasserschiff ausgestattet, in dessen Nähe Wände, Fußboden und Decke mit Aluminiumblech bekleidet sind, Abb. 31. [A 417]



BETRACHTUNG ÜBER DEN FLUGZEUGBAU[1]).

Vier Dinge beherrschen den Flugzeugbau: Die Physik der Luft, seines Lebenselementes; der Mensch, seine Last und sein Führer; der Baustoff und die Energie.

Leistungsbilanz. Wie man diese Einflüsse berücksichtigen muß, um zu einem günstigen Kompromiß zu kommen, zeigt die Bilanz eines ausgeführten Flugzeuges. Gewählt sei die bekannte sechssitzige Junkers-Metallimousine mit 1900 kg Gesamtgewicht, 240 PS Motorleistung und 40 m² Flügelfläche. Demgegenüber steht Schweben — Steigen — Geschwindigkeitsspanne. Man erkennt Auftrieb und Widerstand, welchen Einfluß Profil, Spannweite, Rumpf und andre Teile auf die nötige Energie haben und wie diese Energie anderseits von Motor, Propeller und Flughöhe beeinflußt wird.

Gewichtsbilanz. Erst die Unterteilung des Gesamtgewichtes zeigt jedoch die wirkliche Nutzlast, das wirtschaftlich Bestimmende. Auch hier ist ein Vergleich mit Eisenbahn und Schiff lehrreich: 9 vH Nutzlast beim D-Zug gegen 20 vH beim Flugzeug! Und doch könnte diese in der Luft noch viel höher sein (etwa 50 vH), wenn nicht der Übergang (Start und Landung) zum Bodenfahrzeug nötig wäre. Die Beschleunigungsarbeit bestimmt die Startlänge, der Leistungsüberschuß, mit dem sich das Flugzeug vom Boden erhebt (1 bis 10 m/s), und die Landevorrichtung die Sicherheit.

Der statische Aufbau wird beherrscht durch die ganz ungewöhnliche Gewichtverteilung; alle Hauptlasten sind um den Schwerpunkt zusammengefaßt, die Luftkräfte auf große Flächen verteilt. Dabei besteht die Forderung, möglichst leicht zu bauen. Trotzdem wird das räumlich ausgedehnte, aber größtenteils frei im Luftstrom liegende Fachwerk des Doppeldeckers Stück für Stück vermindert, und wegen der aerodynamischen Vorteile findet mehr und mehr der verspannungslose Eindecker Anwendung. Hier ist die Bauhöhe des Flügels beschränkt und deshalb wachsen die Zug- und Druckkräfte in den Holmen.

Mit den Sicherheiten muß man — gegenüber dem sonst Üblichen — heruntergehen. Die Beanspruchungen steigen auf das Vier- bis Achtfache der normalen.

Die Führung in der Luft. Wie beim Festigkeitsaufbau unterscheidet sich von andern Fahrzeugen das Flugzeug auch dadurch, daß, widersprechend dem äußeren Anblick, die Massen zusammengefaßt sind, die „führenden" Luftkräfte — durch Flossen für die selbsttätige, durch Ruder für die willkürliche Bewegung — groß sind; z. B. ist durch Querruder die achtfache Erdbeschleunigung zu erreichen!

Der stabilisierende Einfluß der Schwerkraft tritt gegenüber den Luftkräften zurück. So kommt es, daß in der Kurve z. B. ein mit 100 km/h fliegendes Flugzeug sich dreißig mal so schnell um seine Achse dreht, wie ein ebenso schnell fahrender Zug, vom Schiff ganz zu schweigen.

Der Mensch. Aber die Grenze findet die mögliche dreidimensionale Bewegung in den Fähigkeiten des Menschen. Auf seine körperlichen und geistigen Fähigkeiten müssen wir an allen Stellen des Flugzeugbaues Rücksicht nehmen. Hierfür ein Beispiel: Bei raschem Kurvenflug eines schnellen Kampfflugzeuges steigen die Massendrücke sekundenlang auf das 3,5-fache der Erdbeschleunigung, das bedeutet eine Verminderung des Blutdruckes im Gehirn von 0,16 at auf 0,03 at. Bewußtseinsstörung ist die Folge. Oder ein anderes: Der Führer soll bei einem neuen großen dreimotorigen Verkehrsflugzeug winddruckfrei sitzen, alle Teile der verwickelten Maschinenanlage leicht, ohne seinen Sitz zu verlassen, bedienen können, dabei nach der Seite, nach vorn und unten gute Sicht haben. Hier genügt keine Zeichnung, es muß praktisch probiert werden. Man hilft sich dabei mit einem Atrappenbau aus Holz und Papier.

Der Aufbau der Zelle erfolgt nun in ähnlicher Weise wie im Schiffbau. Leinwand, Holz und Draht, Stahl, Leichtmetalle ist die Stufenleiter des verwendeten Baustoffes. Für den Zusammenbau in Reihen werden bei den Junkers-Werken Vorrichtungen benutzt. Die Austauschbarkeit wird hier, wie auch sonst im Maschinenbau, immer weiter getrieben; sie erfordert jedoch maschinenmäßige Genauigkeit nur an den Verbindungsstellen der größeren Teile, an andern Stellen sind Abmaße von 2 bis 10 mm zulässig.

Die wenigen Paßstellen liegen nun aber sehr weit auseinander und erfordern weit auseinandergezogene Vorrichtungen, z. B. das Aufbaugerüst für die Flügel. Da es dabei nicht auf das Gewicht und die Festigkeit ankommt, bietet hier die Zusammenschweißung von Profilblechen große Vorteile.

Die Kraftanlage ist in ihren Grundlagen dem Maschinenbauer geläufig, nur gibt man sich meist nicht genügend Rechenschaft darüber, wie hoch beansprucht ein solcher dauernd mit Vollast laufender Flugzeugmotor von höchstens 300 kg Gewicht bei 250 PS z. B. gegenüber der Maschine einer gleich starken Lokomotive von 15 000 kg ist.

Die Zukunftsziele. Nach unten ziehen der Mensch und der Erdboden die Grenze für das Flugzeug. Nach oben gibt es keine! Nach den Ideen unseres Dessauer Führers, Junkers, werden Riesenflugzeuge mit wachsenden Reisegeschwindigkeiten kommen, in großen Höhen fliegend und sicher landend; den ersten Ansatz hat seinerzeit Deutschland schon gemacht. Die Wege sind klar: Verminderung der Widerstände, Vergrößerung der spezifischen Motorleistung, besonders auch in der Höhe, reiner Metallbau. Das Ziel ist der fliegende Flügel, in dessen Hohlräumen alles Nötige untergebracht ist. [M 404]

[1]) Auszug aus dem Vortrag von Dr.-Ing. Mader in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924.

ÜBER DEN FLÜSSIGKEITSWIDERSTAND[2]).

Die auf Newton zurückgehende ältere Lehre vom Luftwiderstand nahm an, daß die ruhend gedachten Luftteilchen einzeln mit dem bewegten Körper zum Stoß kämen. Man bekam auf diese Weise zwar die Tatsache richtig heraus, daß der Luftwiderstand proportional der Fläche, dem Quadrat der Geschwindigkeit und der Luftdichte ist, aber für die Abhängigkeit des Widerstandes von der Form der Körper erhielt man ziemlich fehlerhafte Ergebnisse. Das wirkliche Verhalten der Luft wird viel zutreffender dadurch wiedergegeben, daß man sie als eine Flüssigkeit ansieht, und zwar darf bei den aerodynamischen Anwendungen fast immer auch die Volumenänderung vernachlässigt werden, so daß ihre Bewegungsformen sich von denen des Wassers praktisch nicht unterscheiden.

Das Verhalten einer Flüssigkeit wird gekennzeichnet durch ihre Dichte, ihre Zähigkeit (innere Reibung) und ihre Zusammendrückbarkeit. Die letztere wird gemessen durch die Geschwindigkeit, mit der sich eine Druckwelle (Schallwelle) in der Flüssigkeit fortpflanzt; sind alle Bewegungsgeschwindigkeiten klein gegen diese Schallgeschwindigkeit, dann spielt die Zusammendrückbarkeit keine wesentliche Rolle. Es sollen nur Fälle betrachtet werden, in denen dies zutrifft; dann sind nur Dichte und Zähigkeit wesentlich; wenn man nur nach den Bewegungsformen fragt, dann ist nur das Verhältnis Zähigkeit : Dichte maßgebend, das die Dimension (Länge)² : Zeit hat und „kinematische Zähigkeit" (ν) genannt wird. Unter geometrisch ähnlichen Verhältnissen kommt nun eine geometrisch ähnliche Bewegung zustande, wenn die Reynoldssche Zahl $R = \frac{v\,d}{\nu}$ (eine dimensionslose Zahl) in den beiden Fällen denselben Zahlwert hat (v = Geschwindigkeit, d = Körperdurchmesser).

Da die Zähigkeit, obschon sie bei den gewöhnlichen Flüssigkeiten sehr klein ist, doch für den Flüssigkeitswiderstand eine maßgebende Rolle spielt, ist es nicht verwunderlich, daß die Widerstandziffer (der Beiwert in der Newtonschen Widerstandsformel) keine genaue Konstante ist, sondern aus den Versuchen als eine Funktion der Reynoldsschen Zahl erhalten wird.

Das Zustandekommen des Widerstandes kann nur durch das Studium der Bewegung zäher Flüssigkeiten näher verstanden werden. Bei technischen Anwendungen kommen nur die Verhältnisse bei kleiner Zähigkeit in Frage. Wird eine wenig zähe Flüssigkeit aus der Reihe heraus in Gang gesetzt, so stellt sich zuerst unter dem Einfluß der Druckunterschiede die zunächst auftreten, eine bestimmte Bewegungsform (Potentialbewegung) ein, bei der die Flüssigkeitsteilchen nirgend Drehungen zeigen; in der unmittelbaren Nachbarschaft der Wände und festen Körper jedoch wird die Flüssigkeit durch Reibung (Zähigkeit) zurückgehalten; es entsteht eine verzögerte Grenzschicht, deren Dicke der Zähigkeit verhältnisgleich ist. In der Grenzschicht kommen nun unter bestimmten Umständen rückläufige Strömungen vor, aus denen sich die Wirbel entwickeln, die den eigentlichen Widerstandsvorgang bedingen.

Im einzelnen sind die Vorgänge sehr verschieden, je nachdem die Grenzschicht laminar (schlicht) oder turbulent (wirbelig) strömt. (Beispiele: Kugel und Kreiszylinder, Ballonmodelle.) Der Widerstand besteht in einem Reibungswiderstand und in einem Druckwiderstand. Bei besonders günstiger Formgebung kann der letztere praktisch ganz verschwinden (Tragflügel). In diesen Fällen, die immer dem überkritischen (turbulenten) Zustand angehören, stimmt die Druckverteilung und das Geschwindigkeitsfeld weitgehend mit den Vorausberechnungen überein, die unter Annahme einer reibungslosen Flüssigkeit gewonnen werden. [M 402]

[2]) Auszug aus dem Vortrag von Prof. Dr. Prandtl in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung Luftfahrtechnik und Ingenieurwesen

DIE ENTWICKLUNG DES FLUGMOTORS SEIT DEM KRIEGE.

Von Prof. Dr.-Ing. H. Baer, Breslau.

Behinderung Deutschlands an der Weiterentwicklung des Flugmotors für große Leistungen mitzuarbeiten. Zusammenfassung der nach dem Kriege herausgebildeten Bauarten — Bauteile, wie Zylinder, Kolben, Ausbildung der Lager, der Schmierung und der Steuerung, die jetzt angewendeten Verdichtungsverhältnisse, die bisher ausgeführten größten Zylinderabmessungen und die erreichten Einheitsgewichte — Der Kleinflugmotor.

Durch den Vertrag von Versailles ist Deutschland auf enge Grenzen im Bau und in der Weiterentwicklung des Flugzeuges beschränkt. Naturgemäß hat diese Beschränkung auch ihre Rückwirkung auf die Weiterbildung des Flugmotors. Bei uns scheiden militärische Gesichtspunkte vollständig aus, und so fehlt für uns die vorwärtstreibende Kraft der Heeresleitung; die Entwicklung des Flugmotors ist infolgedessen bei uns geleitet von den Erfordernissen des Luftverkehrs, die auf die Schaffung eines sparsamen und betriebsicheren Motors von nicht zu großer Leistung abzielen; daneben laufen die Interessen der Sportfliegerei, die aber auf einen nicht gerade allzu großen Kreis beschränkt sein dürfte. Abgesehen von den neuen Maybach-Motoren von rd. 400 PS, die zwar in erster Linie für Lenkluftschiffe bestimmt sind, entstanden bei uns seit dem Kriege nur neue Motore in den Leistungen von 30 bis 120 PS. Wer die großen Erfahrungen, die wir im Kriege im Bau von Flugmotoren machten, auch nur einigermaßen übersieht, müßte sich sagen, daß die nächsten Jahre in der Verwertung und Sichtung dieser Erfahrungen große Fortschritte bringen mußten; das war zwar in Deutschland nur zum Teil möglich, hatte aber dort zur Folge, daß an den neu geschaffenen Motoren doch bemerkenswerte Verbesserungen erreicht wurden.

Bei der Entwicklung im Ausland ist aber der Einfluß der militärischen Stellen ganz unverkennbar. Hier sind vor allem England und Amerika mit den Leistungen des einzelnen Motors ganz gewaltig in die Höhe gegangen, so haben wir hier schon Motoren von 900 und 1000 PS Leistung. Wie sich aber so starke Motoren im Dauerbetrieb bewährt haben, ist bis jetzt nicht bekannt geworden.

Im Gegensatz dazu steht das Bestreben, die Antriebleistung der Flugzeuge weitgehend herabzusetzen, um die Flugkosten zu vermindern. Die Anregung dazu ging von den Erfolgen des Segelfluges aus. So entstand das Bedürfnis nach einem Kleinflugmotor. Während die Wiege des Segelfluges in Deutschland steht, ist uns das Ausland in der Schaffung des Kleinflugmotores zuvorgekommen; in Deutschland haben wir bis heute keinen eigentlichen Kleinflugmotor, da unsere Motorenfabriken diese Gelegenheit vorübergehen ließen. Bestrebungen zur Schaffung eines Kleinflugmotors sind augenblicklich im Gang und werden hoffentlich noch in diesem Jahre zum Erfolge führen.

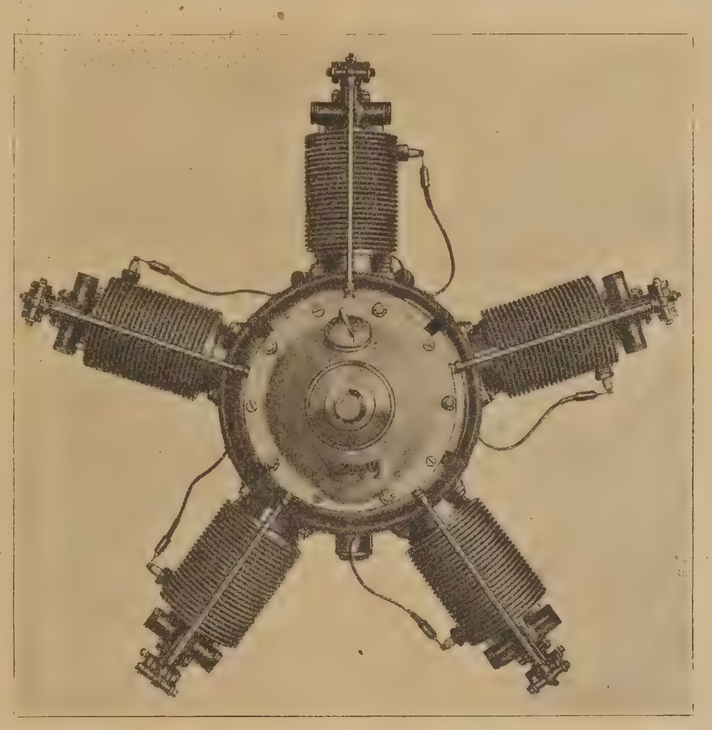
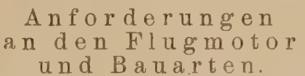


Abb. 1.



Anforderungen an den Flugmotor und Bauarten.

Der Flugmotor muß aus den Bedingungen des Flugbetriebes heraus geschaffen werden. Ein leicht gebauter Automobilmotor ist noch lange kein Flugmotor. Die Bedingungen, unter denen ein Flugmotor arbeitet, sind bedeutend schwieriger als bei einem Automobilmotor, und nur ein den Flugverhältnissen angepaßter Motor kann erfolgreich sein. Die erste und wichtigste Forderung, die man an einen Flugmotor stellen muß, ist unbedingte Betriebssicherheit auch bei mehrstündigem Vollast-

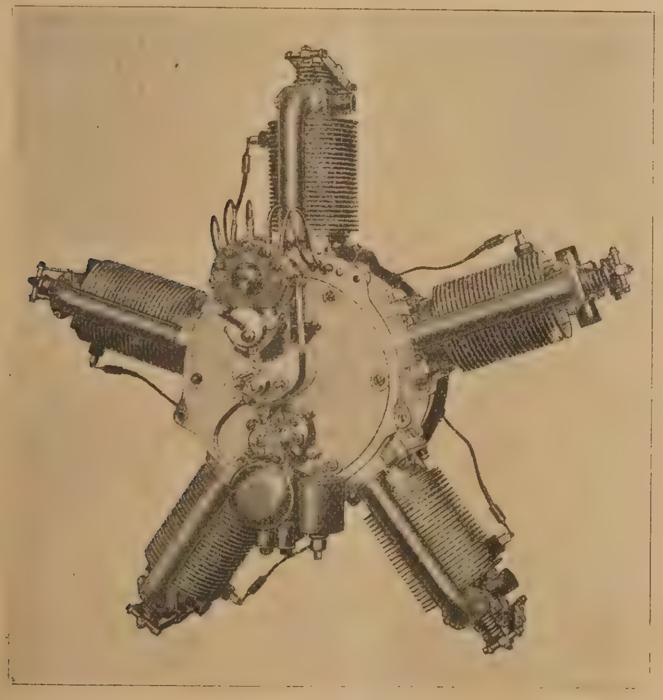


Abb. 2.

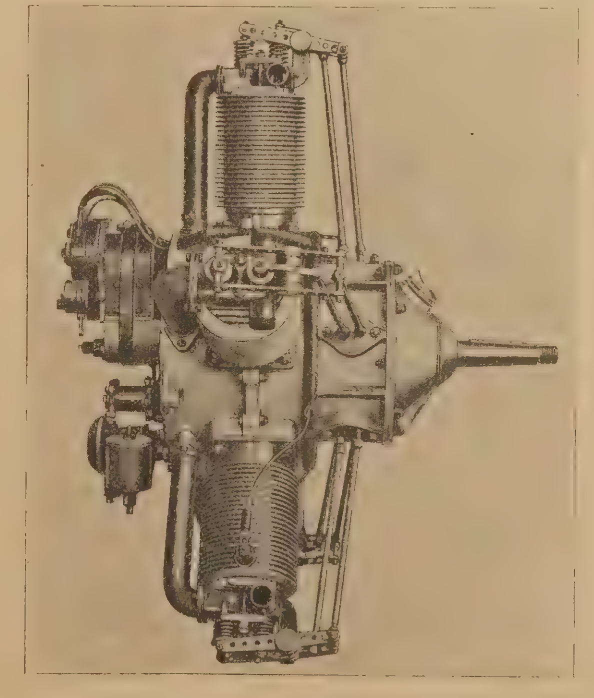


Abb. 3.

Abb. 1 bis 3. Flugmotoren der Firma Siemens & Halske A.-G.

betrieb. Der leichte Unterbau des Flugmotors erfordert vollkommenen Massenausgleich, den man nur mit bestimmten Zylinderzahlen und Zylinderanordnungen erreichen kann. Erzitterungen, die vom Motor herrühren, können im Laufe der Zeit sehr leicht, besonders an solchen Stellen des Flugzeuges zu Brüchen führen, die wie z. B. autogen geschweißte Knotenpunkte, keine Formänderungsarbeit aufnehmen können. Schließlich hat man geringsten Brennstoff- und Ölverbrauch anzustreben, um mit dem mitgenommenen Brennstoff und Ölgewicht die größtmögliche Entfernung durchfliegen zu können. Das Gewicht des Motors muß so klein wie irgend angängig sein, doch darf unter der Gewichtersparnis die Betriebsicherheit keinesfalls leiden.

In der Hauptsache hat der Konstrukteur neben der Rücksicht auf die Herstellung zwei Aufgaben zu erfüllen. Die eine ist die Wahrung der Festigkeitsverhältnisse der einzelnen Bauteile und die andre die Erreichung eines betriebsfähigen Temperaturgleichgewichtes des ganzen Motors. Die Erfüllung dieser Aufgaben erfordert in erster Linie Erfahrung und sachgemäße Überlegung, denn mit der Rechnung ist den vielen hier auftretenden Fragen, namentlich bei der zweiten Aufgabe, nicht beizukommen.

Die Erzielung eines betriebsmöglichen Beharrungszustandes der Temperaturen der Maschinenteile ist beim Flugmotor wohl unter allen Wärmekraftmaschinen am schwierigsten. Die hohe Drehzahl und die bedeutenden umgesetzten Wärmemengen bei verhältnismäßig kleinen Kühlflächen erfordern sorgfältigste Durchbildung der Zylinderkühlung; die Wärme in den hochbelasteten Triebwerkteilen wird am besten gleich da weggeschafft, wo sie entsteht, d. h. an den Laufflächen der Lager; so kommen wir zur Spülschmierung aller Gleitflächen.

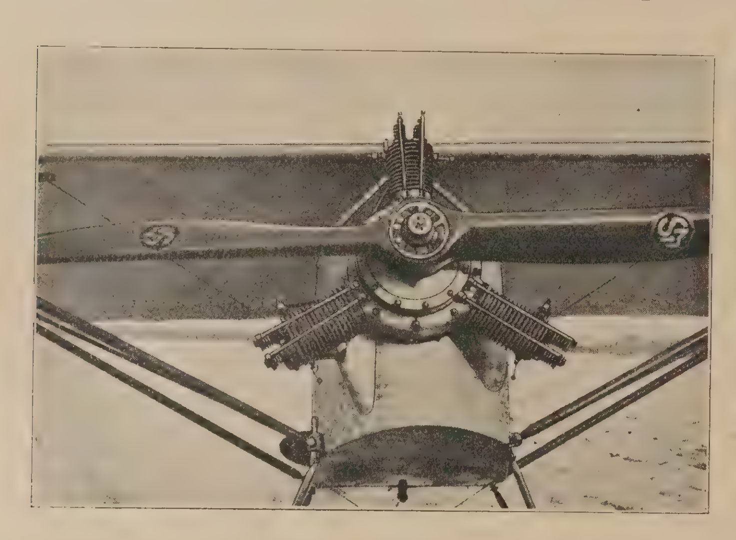
Die Kühlung der Zylinder kann durch Wasser oder durch Luft erfolgen. Die Wasserkühlung gibt eine sichere und wirksame Kühlung der Zylinder. Für ganz große Motoren ist sie wohl die einzig mögliche Kühlung; die nach dem Krieg gebauten großen Flugmotoren bis hinauf zu dem 1000 PS-„Napier-Cub“ haben ausschließlich Wasserkühlung. Die Wasserkühlung hat aber auch viele Nachteile; zur Rückkühlung des Kühlwassers braucht man einen Kühler, dazu kommen die Kühlwasserpumpe und die Kühlwasserleitungen, die alle mehr oder minder empfindliche Teile sind und leicht zu Betriebstörungen wie Undichtwerden der Leitungen, ihrer Verbindungen, Verlust des Kühlwassers, Überkochen des Kühlers, Einfrieren im Winter usw. führen können. Alles das macht den wassergekühlten Motor auch schwer.

Die Luftkühlung ist beim Flugmotor auch bei verhältnismäßig großen Abmessungen möglich, weil durch die hohe Geschwindigkeit ein kräftiger Luftstrom entsteht. Sie führt zu einer bedeutenden Vereinfachung der Maschinenanlage, bedingt aber bestimmte Motorbauarten, bei denen jeder Zylinder dem kühlenden Luftstrom voll ausgesetzt ist. Das Gewicht des luftgekühlten Motors ist bei gleicher Leistung durchweg geringer als das des wassergekühlten, ebenso sind die Anlagekosten kleiner. Die Luftkühlung ist naturgemäß nicht so wirksam wie die Wasserkühlung; so kann man mit der Drehzahl und insbesondere mit der Verdichtung nicht so hoch wie beim wassergekühlten Motor hinaufgehen, und dementsprechend ist der Brennstoffverbrauch auch höher. Auch der Ölverbrauch ist wegen des reichlichen Mitbrennens von Öl größer. Zusammengefaßt sind jedoch die Vorteile des luftgekühlten Motors bei kleinen und mittleren Leistungen größer als seine Nachteile.

Dementsprechend sind seit Kriegsende verschiedene Motorbauarten mit Luftkühlung entstanden, bei uns der Siemens-Motor mit Leistungen von 50, 70 und 110 PS, Abb. 1 bis 3, sowie der Motor des Stahlwerks Mark, Breslau, Abb. 4, 5 und 6, mit 35, 60 und 120 PS. Im Ausland, namentlich England, ist diese Entwicklung schon bedeutend weiter fortgeschritten. So hat England in dem Neunzylinder-Sternmotor „Jupiter“ der Bristol Co., Abb. 7, einen luftgekühlten Motor von rd. 400 PS und in dem Motor ABC-Dragon-Fly I A einen solchen von 360 PS.

Die früher schon oft bei Kleinmotoren angewendete mechanische Luftkühlung hat vor kurzem Junkers für Flugmotoren angewendet. Hier sind die Zylinder mit einem weiten und leichten Kühlmantel umgeben, durch den ein Ventilator einen kräftigen Luftstrom treibt. Bei Kleinmotoren hat sich dieses Verfahren bewährt, hier hat es nur den Nachteil, daß ein verhältnismäßig großer Teil der Motorleistung im Antrieb für das Kühlgebläse verloren geht. Bei größeren Flugmotoren mag dies günstiger sein; auf jeden Fall werden jedoch Raumbedarf und Gewicht größer als beim üblichen luftgekühlten Motor.

Während bis in den Krieg hinein die verschiedenartigsten Bauarten des Flugmotors ausgeführt wurden, trat schon im Kriege eine Sichtung ein. Diese Sichtung ist nach dem Kriege weitergegangen und heute sind nur zwei Grundbauarten übrig geblieben, aus denen sich die heutigen Flugmotoren entwickelten. Es sind dies der Reihenmotor und der Sternmotor; aus der Vereinigung beider entstand der Reihen-V-Motor und der Reihen-Sternmotor, die heute bei den großen und größten Leistungen, d. h. über 400 PS, die fast ausnahmslos angewendeten Bauarten bilden. Bemerkenswert ist, daß der Umlaufmotor, d. h. der Motor mit umlaufenden Zylindern und feststehender Kurbelwelle aus den neueren Bauarten ausgeschieden ist.



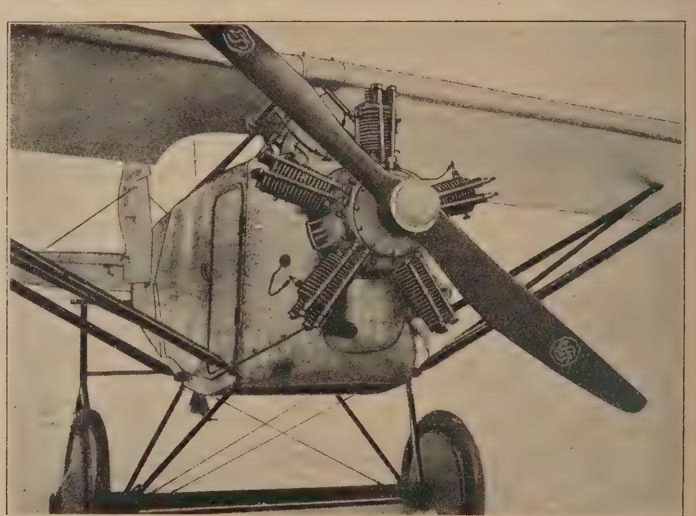


Abb. 4 und 5. Ansichten von Flugmotoren des Stahlwerks Mark, Breslau.

Der Reihenmotor mit sechs in einer Ebene hintereinander stehenden Zylindern war im Kriege die in Deutschland vorherrschende Bauart. Er kommt nur für Wasserkühlung oder mechanische Luftkühlung in Frage. Durch Anordnung einer zweiten Reihe von 6 Zylindern unter 60° oder 90°, V-förmig geneigt, entsteht der V-Motor mit 12 Zylindern. Auch diese Bauart wurde bei uns im Kriege vereinzelt gebaut; unter den neuen deutschen Motoren liegt sie dem 400 PS-Maybach-Motor zugrunde. Das Ausland hat diese Bauart weitgehend in Anwendung; in England in erster Linie die Firma Rolls-Royce, die Motoren von 250, 360 und 650 PS in dieser Bauart gebaut hat. Vielfach findet man auch zwei Zylinderreihen in V-Anordnung mit je vier Zylindern in der Reihe, im ganzen also acht Zylindern, eine Bauart, die seinerzeit beim Hispano-Suiza-Motor zur Anwendung kam.

Die zweite Bauart ist der Sternmotor. Bei diesem stehen eine ungerade Zahl von Zylindern, 3, 5, 7 und 9 Zylinder, radial in einer Ebene, und die Kolbenstangen treiben alle eine gemeinsame Kurbel. Jeder Zylinder ist dem Fahrtluftstrom vollkommen frei ausgesetzt, so daß diese Bauart die gegebene Bauart für Luftkühlung ist. Bei uns hat man während des Krieges

diese Bauart nicht ausgeführt trotz ihrer bedeutenden Vorzüge. Seit dem Kriege hat sie aber sehr an Verbreitung zugenommen, wie die neueren deutschen luftgekühlten Motoren des Stahlwerks Mark und von Siemens beweisen. Auch im Ausland ist diese Bauart für luftgekühlte Motoren die allein übliche geworden. In England bringt die Firma Bristol Co. einen Sternmotor von 400 PS Leistung auf den Markt, in Amerika gehen die Lawrance-Motoren bei Luftkühlung in sternförmiger Anordnung bis zu 200 PS bei 9 Zylindern hinauf. Die früher manchmal ausgeführte Anordnung von zwei gleichen, aber versetzten Sternen, ist heute ungebräuchlich geworden; der Grund liegt vermutlich in den bedeutenden konstruktiven Schwierigkeiten dieser Bauart.

Bei ganz großen Leistungen, wo die V-Anordnung nicht mehr ausreicht, muß man zum Reihen-Sternmotor übergehen. Hier kommt natürlich nur Wasserkühlung in Betracht. Während man bei dem einfachen Sternmotor an eine ungerade Zylinderzahl gebunden ist, kann man nunmehr auch eine gerade Anzahl von Zylinderreihen in Sternform anordnen. Diese Bauart hat seinerzeit in Deutschland schon Rumpler vorgeschlagen, bevor im Ausland derartige Maschinen bekannt wurden. Der Rumplersche Vorschlag ging auf einen Siebenstern von je 4 Zylindern, im ganzen also auf 28 Zylinder hinaus. Rumpler hoffte damit auf eine Leistung von 1000 PS zu kommen. Bei uns hat man derartige Maschinen bis heute noch nicht ausgeführt; in England baut aber die Firma Napier drei verschiedene Motorentypen dieser Art, und zwar zwei Motoren mit drei Reihen von je 4 Zylindern, wovon eine überverdichtend ist, für Leistungen von 425 bis 450 PS (Napier-Lion); die dritte Type hat 4 Reihen mit je 4 Zylindern bei einer Leistung von 1000 PS (Napier-Cub).

Da die Zylinderdurchmesser und der Hub mit Rücksicht auf die Kühlungsverhältnisse nicht bis ins Unbegrenzte vergrößert werden können und schließlich die Zylinderzahl auch gewissen Grenzen unterworfen ist, so war die Schaffung derartiger Großleistungen nur durch entsprechende Steigerung der Drehzahlen möglich. Als übliche Drehzahl eines wassergekühlten Motors kann man heute 1800 bis 2000 Uml./min ansehen, gegenüber 1400 bis 1600 am Kriegsende. Nun kann eine Luftschraube für so große Leistungen nicht mit so hoher Drehzahl laufen, wenn der Wirkungsgrad nicht zu stark sinken soll; das ergibt die Notwendigkeit, ein Übersetzungsgetriebe anzuwenden, das die Drehzahl der Schraube weit genug herabsetzt. Diese Drehzahl soll auch entsprechend tief liegen, damit der Wirkungsgrad möglichst hoch wird.

Daher liegen die Schraubendrehzahlen bei wassergekühlten Motoren allgemein tiefer als bei Kriegsende und überschreiten nicht 1300 Uml./min; am meisten sind 1000 bis 1200 Uml./min gebräuchlich. Die Getriebe sind verhältnismäßig einfache und leichtgebaute Zahnradgetriebe und bestehen in der Mehrzahl aus einem kleinen und einem großen Zahnrad; das Planetengetriebe ist anscheinend im Verschwinden begriffen, da sich die in Betracht kommenden Übersetzungsverhältnisse noch mit einfachen Vorgelegen erreichen lassen.

Während fast alle wassergekühlten Motoren des Auslandes Getriebe haben, werden die luftgekühlten durchweg ohne Getriebe mit unmittelbarem Schraubenantrieb gebaut, weil die Luftkühlung die Anwendung so hoher Drehzahlen, wie bei wassergekühlten Motoren, nicht zuläßt. So kann man hier gerade noch ohne Getriebe auskommen. Die Drehzahlen der luftgekühlten Motoren liegen bei uns bei rd. 1500 Uml./min, das Ausland (England) geht bis zu rd. 1600 Uml./min.

Bauteile der Flugmotoren.

Bemerkenswerte Umgestaltungen haben die baulichen Einzelheiten, vor allem Zylinder und Kolben, erfahren. Der gußeiserne Zylinder kommt für wassergekühlte Motoren jetzt überhaupt nicht mehr in Frage, dagegen findet er sich im Inland noch vielfach bei luftgekühlten Motoren, wo ihn das Ausland auch schon verlassen hat. Bei wassergekühlten Motoren haben wir überwiegend geschweißte Stahlzylinder, von denen zwei bis vier in einem Block mit gemeinsam herumgelegten Kühlmantel vereinigt sind; daneben findet sich der Aluminiumzylinder mit eingelegter Stahllaufbüchse, ebenfalls als Blockzylinder, vor. Beide Bauarten, von denen der geschweißte Stahlzylinder bei uns schon im Kriege weitestgehende Anwendung fand, während der Aluminiumzylinder nur beim Hispano-Suiza als Block von 4 Zylindern benutzt wurde, gestatten eine bedeutende Gewichtsersparnis gegenüber noch so leicht gebauten Gußeisenzylindern. Entwurf und Herstellung setzen allerdings viel Erfahrung und entsprechende Werkstatteinrichtungen voraus.

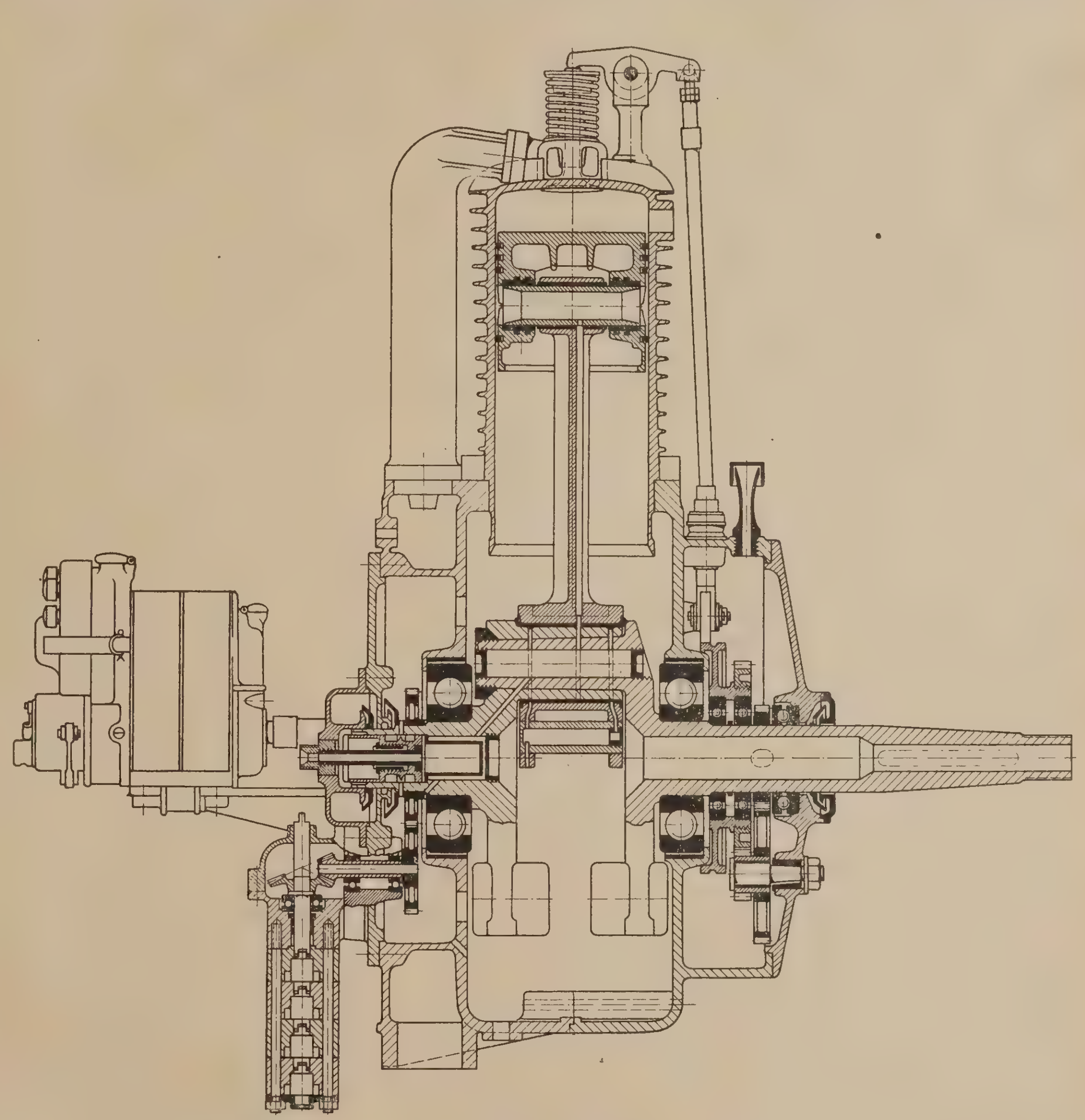


Abb. 6. Schnitt durch den Dreizylinder-Motor des Stahlwerks Mark, Breslau.
Zyl.-Dmr. = 105 mm, $s = 130$ mm, $n = 1400$ Uml./min, $N_e = \sim 38$ PS$_e$. 1 : 5.

Im Gegensatz dazu wird der luftgekühlte Zylinder heute noch bei uns sehr häufig aus Gußeisen hergestellt, da unter dem jetzigen äußeren Zwang keine großen Motorleistungen für uns in Frage kommen und bei den verhältnismäßig kleinen Zylinderabmessungen schon mit Gußeisen ein betriebsicherer Temperaturzustand der Zylinder erreicht werden kann. Weiterhin ist der gußeiserne Zylinder gegenüber allen anderen Bauarten recht billig. Durch sachgemäße Anordnung der Kühlrippen läßt sich noch viel erreichen. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß hohe und engstehende Kühlrippen durchaus keine günstige Kühlwirkung herbeiführen, einmal weil die Rippen sich gegenseitig zu stark bestrahlen und dann weil die Kühlluft in die engen Räume zwischen den einzelnen Ripppen nur schwer oder in ganz unzulässig geringem Maß einströmt. Die Erfahrungen mit den Mark-Motoren zeigen, daß sich durch verhältnismäßig niedrige und weitstehende Rippen eine bessere Kühlwirkung erreichen läßt; nebenher läuft aber auch eine beträchtliche Gewichtersparnis. Da die schwierigen Verhältnisse der Luftkühlung noch fast gar nicht wissenschaftlich erforscht sind, steht zu erwarten, daß eingehende Untersuchungen hier noch manche Verbesserungsmöglichkeiten bringen werden.

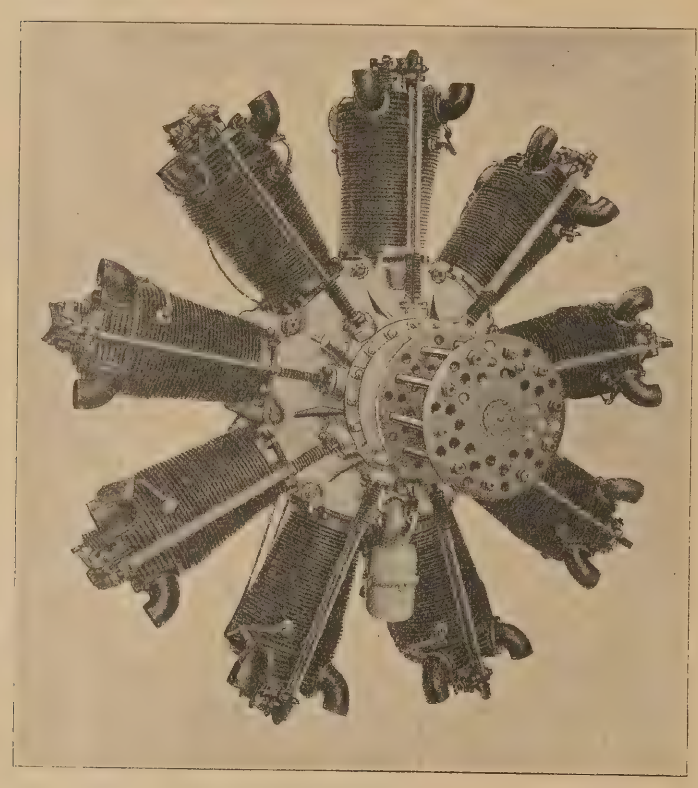


Abb. 7. Neunzylinder-Sternmotor „Jupiter" der Bristol Co.

Der Aluminiumzylinder mit eingelegter Stahllauffläche findet sich als luftgekühlter Zylinder beim Siemens-Motor; die vorzügliche Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums ermöglicht hier eine gute Kühlung. Ebenso wie bei den wassergekühlten Motoren mit Aluminiumzylindern dürfen aber die Ventile nicht auf dem weichen Aluminium unmittelbar aufsitzen. Die eingesetzte Stahllaufbüchse muß sich deshalb über den Zylinderboden hinweg erstrecken und auch die Ventilsitze enthalten. Eine englische Bauart setzt besondere Ventilsitze in Form von Stahlringen ein und läßt die Laufbüchse nicht weiter als nötig gehen.

An dieser Stelle möge auf die eigenartige, fast gewagte Bauart der Zylinder des Napier-Lion hingewiesen werden. Bei diesem Motor haben die vier Zylinder eines Blockes einen über sie hinwegreichenden gemeinsamen Zylinderkopf aus Aluminium, in dem die Stahlzylinder eingeschraubt sind; letztere haben einen aus zwei zusammengeschweißten Blechhälften bestehenden Kühlmantel. Die Ventilsitze sind aus Stahl und besonders in den Zylinderkopf aus Aluminium eingepreßt.

Ein Schritt weiter in der Entwicklung des Aluminiumzylinders wäre es, wenn es gelänge, ohne die eingesetzte Laufbüchse auszukommen. Dann könnte man auch die andere für den Motorenbau wichtige Eigenschaft des Aluminiums, nämlich seine geringe Wärmeaufnahme, ausnützen und wahrscheinlich infolge der geringen Wärmeaufnahme und der raschen Wärmeableitung durch das Aluminium nicht unbeträchtliche Ersparnisse im Brennstoffverbrauch und Leistungserhöhungen erreichen. Jedenfalls wird aber nur eine besondere Aluminiumlegierung mit genügender Härte, allenfalls unter Heranziehung mechanischer Verdichtungshärtung, die schon Rumpler angeregt hatte, eine derartige Bauart ermöglichen. Die Kolben müßten dann wahrscheinlich mit einer Stahllauffläche über einem Aluminiumkörper versehen werden, so daß wir auf eine Umkehrung des bisher Üblichen kommen würden.

Als dritte Bauart haben wir bei den luftgekühlten Motoren den aus dem Vollen herausgearbeiteten Stahlzylinder, ähnlich, wie er seinerzeit bei dem Gnom- und Le Rhône-Motor zur Ausführung kam. Diese Bauart befriedigt hinsichtlich des Betriebes vollkommen; nur ist sie sehr teuer und ohne Spezialmaschinen, insbesondere Fräsmaschinen, nicht ausführbar; aber auch dann beansprucht die Herstellung viele Arbeitsstunden; in dieser Bauart sind z. B. die Zylinder der erfolgreichen Motoren der Bristol Co. ausgeführt.

Nächst dem Zylinder hat der K o l b e n die weitestgehende Umwandlung erfahren, der heute fast ausnahmslos aus Aluminium hergestellt wird. Reines Aluminium genügt jedoch als Kolbenbaustoff nicht, da es nicht genügend hart und fest ist. In der Hauptsache besteht die Kolbenlegierung neben rd. 90 vH reinem Aluminium aus Zinn und etwas (rd. 1 vH) Nickel. Das Gießen darf nur in Kokillen erfolgen, wobei man Stahl- oder auch Sandkerne verwenden kann, ohne daß bei Sandkernen die Güte des Gußstückes leidet.

Da sich die gegenüber Gußeisen immer noch recht weiche Kolbenlegierung leicht ausschlägt, wird besondere Sorgfalt der Befestigung des Kolbenbolzens im Kolben zugewendet. Am besten haben sich hier in die Kolbenlegierung eingegossene Stahlbüchsen, die auf ihren äußeren Umfang mit nicht zu niedrigen Vorsprüngen versehen sind, bewährt; in diesen Stahlbüchsen sitzen erst die Kolbenbolzen. Eine einheitliche Verbindung dieser Stahlbüchsen mit dem Kolbenmaterial ist allerdings nicht vorhanden, doch wird durch das ziemlich bedeutende Schwinden der Kolbenlegierung beim Erstarren eine absolut feste Spannungsverbindung zwischen Büchse und Kolben herbeigeführt.

Manche Firmen drehen die übliche Bauart um und pressen in den Kolben Bronzebüchsen ein, in denen der Kolbenbolzen läuft, während er in der Kolbenstange festsitzt. Bei fast allen Sternmotoren findet man am innern Kolbenende einen Ölabstreifring, der ein Verölen des Verbrennungsraumes verhindern soll; aber auch sonst hat der Ölabstreifring eine wesentliche Verringerung des Ölverbrauches des Motors zur Folge. Die üblichen aus dem Motorenbau übernommenen 3 Kolbenringe aus Gußeisen verschwinden immer mehr, da sie vielfach im Dauerbetriebe bei den hohen Temperaturen nicht dicht halten und ab und zu brechen. An ihre Stelle treten 4 bis 6 ganz schmale (rd. 1,5 mm breite) Kolbenringe aus Federstahl, deren radiale Höhe ungefähr der der gußeisernen Kolbenringe gleich ist. Diese stählernen Kolbenringe haben sich entschieden besser als die üblichen Kolbenringe aus Gußeisen bewährt. Ihre Masse ist auch bedeutend geringer; so wird auch das achsiale Ausschlagen der Kolbenringe in der Aluminiumlegierung, das bei den schweren gußeisernen Kolbenringen oft auftritt, vermieden. Eine besondere Festlegung derartiger Kolbenringe auf dem Umfang ist nicht nötig, wenn man abwechselnd entgegengesetzt schräg gerichtete Stöße ausführt; denn dann ist es sehr unwahrscheinlich, daß beim Wandern der Kolbenringe alle oder mehrere Stöße dauernd in eine Mantellinie des Kolbens fallen und darin verbleiben.

Die größere Wärmeausdehnung des Aluminiums nötigt dazu, die Kolbenspiele im Zylinder bedeutend größer als bei gußeisernen oder stählernen Kolben zu machen. Da der Kolben sehr verschiedene Temperaturen hat und am Boden natürlich bedeutend heißer als am innern Ende wird, muß das Spiel am Kolbenboden größer sein, der sich viel stärker ausdehnt. Gewöhnlich wird bei den Aluminiumkolben das Spiel am Kolbenboden mit rd. $^1/_{120}$ des Zylinderdurchmessers, am anderen Ende ungefähr halb so groß bemessen. Der Übergang von Kolbenboden zum anderen Kolbenende wird sehr verschieden je nach den Erfahrungen im einzelnen Fall ausgeführt, durchwegs erstreckt sich jedoch das Spiel am Kolbenboden bis hinter den ersten oder zweiten Kolbenring, und geht von da an in Abstufungen in das Spiel am offenen Kolbenende über.

Bei den L a g e r n ist das Bestreben kennzeichnend, möglichst weitgehend Rollen- und Kugellager zu verwenden, ein Bestreben, das auch im Bau von Automobilmotoren der letzten Jahre deutlich hervortritt. Gerade beim Flugmotor sind die Vorteile des Kugellagers, wie geringe Reibungsarbeit, kleiner

Ölverbrauch und kurze Baulänge, wesentlich; nachteilig sind das große Gewicht und der große Außendurchmesser von Kugel- oder Rollenlagern. Am deutlichsten zeigt sich dieses Streben nach Anwendung der Kugellager bei den Sternmotoren, wovon mehrere überhaupt nur Kugel- und keine Gleitlager mehr aufweisen. Die durchweg geteilte Kurbelwelle dieser Motorenbauart führt auch ganz von selbst zu den Kugellagern. Bei den mehrfach gekröpften Kurbelwellen der Reihenmotoren ist das Problem der Anwendung der Kugellager noch nicht gelöst; hier haben wir an den Kurbelzapfen und mittleren Traglagern noch Gleitlager. Das im Kleinmotorenbau vereinzelt gut bewährte zweiteilige Kugellager hat man bei Flugmotoren noch nicht versucht.

Die Ausbildung der Schmierung stellt an den Konstrukteur die größten Anforderungen und man kann ruhig aussprechen, daß die Lösung der Aufgabe, eine so vielgliedrige und hochbeanspruchte Maschine, wie einen Flugmotor, mit einfachen und vor allem nicht zuviel Platz und Gewicht beanspruchenden Mitteln, sicher und zwangläufig zu schmieren, heute noch nicht gefunden ist. Fast durchwegs benutzt man noch den schon im Kriege beschrittenen Weg, der darin besteht, daß eine einzige Ölpumpe das Öl allen Schmierstellen, die parallel geschaltet sind, gemeinsam zudrückt. Das Ablauföl sammelt sich in der Kurbelkammer, aus der es die Ölpumpe absaugt. Den Ersatz des verbrauchten Öles liefert eine besondere Zusatzölpumpe; ein unmittelbar an der Pumpe angeordnetes feines Sieb hält die Verunreinigungen zurück.

Diese Art der Schmierung ist recht unvollkommen, denn da die einzelnen Schmierstellen parallel geschaltet sind, entzieht es sich jeder Kontrolle im Betriebe, wieviel die einzelne Schmierstelle an Öl bekommt; man regelt die Verteilung des Ölstromes mit Drosselscheiben, doch auch diese können sich verstopfen, und ihre Abmessungen kann man nur in langwierigen Versuchen auf dem Bremsstand ermitteln. Gerade bei den Flugmotoren, wo der Schmierung nicht allein die Aufgabe lediglich zu schmieren zukommt, sondern wo aus den hoch beanspruchten Gleitlagern durch den Ölstrom auch die erzeugte Reibungswärme gleich wegspült und so das Temperaturgleichgewicht des Triebwerkes erhalten werden soll, wäre unter allen Umständen die Zwangläufigkeit der Schmierung anzustreben. Diese Aufgabe ist aber mit dem zur Verfügung stehenden Platz und Gewicht nicht leicht zu lösen.

In der Anordnung des Ölfilters, das etwa ins Schmieröl gelangte Fremdkörper zurückhalten soll, hat man dagegen vieles verbessert. Wesentlich ist, daß auch auf dem Wege vom Ölfilter bis zur Schmierstelle keine Fremdkörper mehr ins Öl gelangen können, d. h. daß der Weg vom Ölfilter bis zur Schmierstelle so kurz wie möglich ist und durch keine Reibflächen, wie Laufflächen von Lagern usw., hindurchführt. So kommen wir zur Anordnung der Ölfilter jeweils unmittelbar vor den Schmierstellen selbst. Bei deutschen Motoren hat meines Wissens diese Anordnung der Ölfilter zum erstenmal das Stahlwerk Mark getroffen.

Die seit dem Kriege und schon vorher durchweg übliche Anordnung der Ventile im Zylinderkopf: hängend mit parallel zur Zylinderachse verlaufenden oder zueinander geneigten Ventilführungen wird überall beibehalten. Wenn sie auch das Einschleifen der Ventile etwas erschwert, so hat sie doch so große Vorteile, daß sie allgemein angewendet wird. Der Hauptvorteil ist, daß man auf diese Weise die kleinste Oberfläche des Verdichtungsraumes, also auch sehr kleine Wärmeverluste erhält. Der Antrieb der Ventile läßt sich konstruktiv gut lösen; bei Reihenmotoren überwiegt die oben über die Zylinder hinwegreichende Steuerwelle, deren Nocken durch Schwinghebel und teilweise auch unmittelbar ohne Hebel auf die Ventile drücken. Die andere Möglichkeit liegt in der Betätigung der Ventile durch Stoßstangen und Kipphebel, eine Bauart, die sich für Sternmotoren wegen deren Aufbau eignet und hier überhaupt einzig in Frage kommt. Der Baustoff der Ventile ist hochwertiger Stahl, der wegen der Erhitzung der Auspuffventile auch bei hohen Temperaturen genügende Festigkeit haben muß, d. h. Chromnickelstahl, Wolframstahl usw.

Die Abmessungen der Ventile sind durchweg reichlicher geworden, und fast nirgends findet man höhere mittlere Strömgeschwindigkeiten als 50 m/s. Bei großen und raschlaufenden Motoren kommt man aber dann mit einem Ansaug- und einem Auspuffventil nicht mehr aus; vereinzelt findet man ein großes Einlaß- und zwei kleine Auspuffventile, die übliche Anordnung umfaßt jedoch zwei Ansaug- und zwei Auspuffventile, obwohl dadurch die Formgebung der je zwei Ventile betätigenden Kipphebel schwieriger wird.

Das Verdichtungsverhältnis ist seit dem Kriege etwas gesteigert worden; bei wassergekühlten Motoren geht man bis 5,2, während am Kriegsende 4,8 normal war. Bei luftgekühlten Motoren finden sich heute durchwegs Verdichtungsverhältnisse von 4,8 bis 5,0 gegenüber rd. 4,2 am Ende des Krieges. Von der Überverdichtung wird trotz ihrer großen Vorteile beim Flug in großen Höhen nur vereinzelt Gebrauch gemacht; am meisten findet sie sich bei amerikanischen Motoren. Die Motoren mit einem vorgeschalteten Kompressor zur Verdichtung des Gemisches, die man zur Erhöhung der Leistung in großen Höhen im letzten Kriegsjahr bei uns gebaut hatte, sind heute fast verschwunden, obwohl auf diesem Wege große Fortschritte zu erwarten waren. Vermutlich ist das Ausland — für uns kommen solche Motoren vorläufig nicht in Frage — vor den technischen Schwierigkeiten dieser Motorenbauart zurückgeschreckt.

Bei der Feststellung der Gewichte für die Leistungseinheit, s. Abb. 8, kommt man zu folgendem Ergebnis: Zunächst ist der luftgekühlte Motor durchwegs leichter als der gleichstarke Motor mit Wasserkühlung. Im Leistungsgebiet von 250 bis 400 PS werden hier Gewichte von 0,75 kg/PS erreicht; bei kleineren Leistungen steigt selbstverständlich das Gewicht bedeutend an und erreicht bei 30 PS ungefähr 2 kg/PS für die betriebsfertige Maschine ohne Brennstoff und Ölvorrat, jedoch einschließlich Schraubennabe.

In der Gegend von 1,7 kg/PS lag auch das Einheitsgewicht der wassergekühlten deutschen Reihenmotoren am Kriegsende. Dieser Wert ist heute weitgehend unterschritten, und wir finden bei englischen Motoren bei Leistungen von 450 PS Einheitsgewichte von 0,85 bis 0,9, bei amerikanischen Motoren mit Drehzahlen von 1800 bis 2000 Uml/min ohne Getriebe, also mit rasch laufender Schraube bei 375 PS Leistung rd. 0,75 bis 0,8 kg/PS. Bei solchen Motoren dürfte die Gewichtersparnis, die der Fortfall des Getriebes bedingt, wohl durch den schlechteren Wirkungsgrad der Schraube ausgeglichen werden.

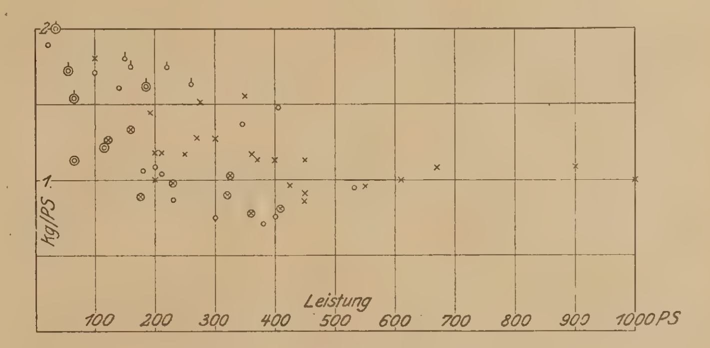


Abb. 8. Einheitsgewichte von Flugmotoren.

- Deutsche Flugmot. m. Wasserkühlung o. Kühler u. Wasser.
- Deutsche Flugmotoren mit Luftkühlung.
- × Engl. Flugmot. m. Wasserkühlung ohne Kühler u. Wasser.
- Englische Flugmotoren mit Luftkühlung.
- ∘ Amerik. Flugmot. m. Wasserkühlung ohne Kühler u. Wasser.
- ◎ Amerikanische Flugmotoren mit Luftkühlung.

Eigenartig ist der Verlauf des Einheitsgewichtes bei den wassergekühlten Motoren; es erreicht nämlich im Gebiet von 300 bis 450 PS Leistung einen Mindestwert und steigt mit steigender und fallender Motorleistung wieder an. Vielleicht muß man daraus schließen, daß sich ganz große Motoren mit 600 bis 1000 PS Leistung nicht mit dem geringen Einheitsgewicht bauen lassen wie solche von mittlerer Leistung, möglich ist aber auch, daß man so große Motoren heute noch nicht so wie die mittleren durchgebildet hat. Das bei uns am Kriegsende bei wassergekühlten Motoren erreichte Einheitsgewicht von rd. 1,7 kg/PS entsprach ungefähr den Leistungen von 100 bis 200 PS. Heute erreicht man in diesem Gebiet, wo sich durchweg noch Motoren ohne Vorgelege finden, Leistungsgewichte von 1 bis 1,4 kg/PS.

Die Verbesserungen im Brennstoffverbrauch sind zahlenmäßig nicht sehr groß, soweit wassergekühlte Motoren in Frage kommen; der heutige Brennstoffverbrauch liegt hier ungefähr bei 200 g/PSh, bei luftgekühlten Motoren bei rd. 220 bis 240 g/PSh; gegenüber dem viel höheren Brennstoffverbrauch der luftgekühlten Motoren am Kriegsende ist also hier doch ein bemerkenswerter Fortschritt zu verzeichnen.

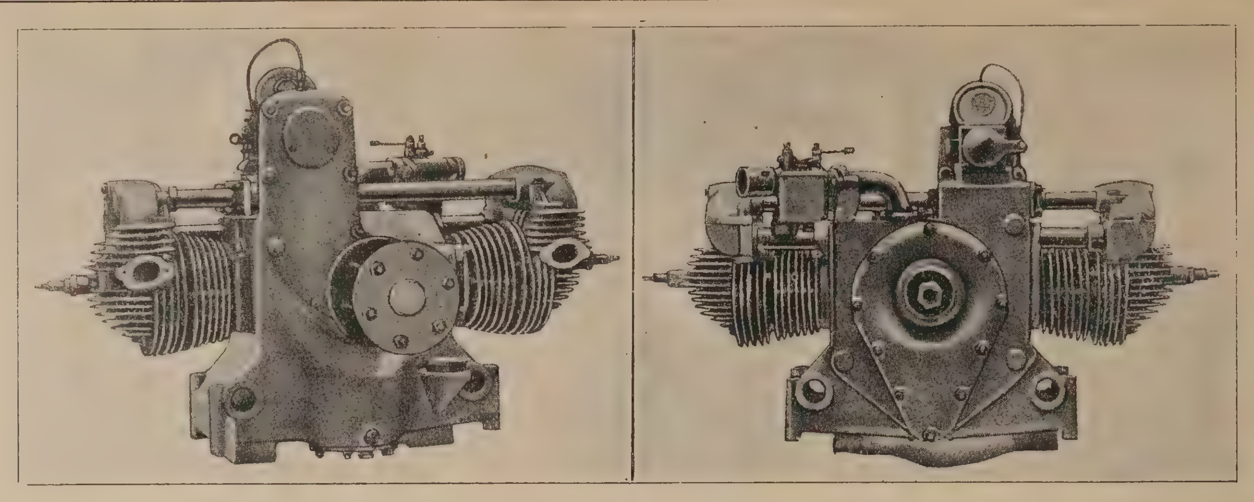


Abb. 9 und 10. Vorder- und Rückansicht des Kleinflugmotors „Cherub" der Bristol Co.

Im Zusammenhang damit mögen auch einige Angaben über die bisher ausgeführten größten Zylinderdurchmesser von Interesse sein. Die größten Zylinder von 178 mm Dmr. hat der amerikanische Wright-Motor D 1 bei 203 mm Hub, der natürlich mit Wasserkühlung arbeitet. Den größten Hub mit 213 mm hat der Sunbeam-Sikh bei einem Zylinderdurchmesser von rd. 120 mm. Das Verhältnis von Hub zu Bohrung der wassergekühlten Motoren beträgt zwischen 1,1 und 1,8. Den größten Zylinder bei luftgekühlten Motoren hat der Bristol Jupiter mit 146 mm bei 190 mm Hub; das Hubverhältnis schwankt bei Luftkühlung nicht so stark wie bei Wasserkühlung, hier liegen die Werte alle zwischen 1,1 und 1,3.

Durch den äußeren Zwang war Deutschland leider nicht in der Lage, an der Entwicklung mittlerer und großer Flugmotoren in dem Umfange mitzuarbeiten, wie es seiner hochentwickelten Motorenindustrie auf Grund der reichen Erfahrungen möglich gewesen wäre; die Entwicklung blieb hier mit einer einzigen Ausnahme auf die verhältnismäßig kleinen Motoren von 30 bis 120 PS beschränkt. Nach den glänzenden Erfolgen des deutschen Segelfluges hätte man eigentlich erwarten können, daß sich die deutsche Motorenindustrie mit der Schaffung eines Kleinflugmotors befassen und wenigstens auf diesem Gebiet vor dem Ausland einen ausgesprochenen Vorsprung erringen würde.

England hat in dem Kleinflugmotor „Cherub" der Bristol Co. mit 20 PS Höchstleistung bei 2500 Uml./min bereits einen derartigen Motor, Abb. 9 und 11. Er hat zwei gegenüberliegende Zylinder von 85 mm Dmr. und 94 mm Hub und treibt unmittelbar die Luftschrauben an. Unter den in den letzten Jahren im Ausland entworfenen Kleinflugmotoren seien noch folgende erwähnt: Der amerikanische Kleinflugmotor der Steel-Products Engineering Co. in Springfield mit 12 PS bei 2000 Uml./min, dann die französischen Kleinflugmotoren von Clerget-Renault mit 16,5 PS bei 1800 Uml./min, von Salmoon mit 16 PS bei 2400 Uml./min, von Anzani mit 10 PS bei 1500 Uml./min und der Gnôme-le-Rhône-Rhein-Flugmotor von 10 PS bei 1500 Uml./min. Das Gewicht für 10 PS liegt bei diesen Kleinflugmotoren zwischen 1,8 bis 4 kg. Bei uns und auch beim letzten englischen Kleinflugwettbewerb hat man sich mit Motoren für Motorräder geholfen, deren Drehzahl hoch hinaufgetrieben wurde, ohne eigentliche Kleinflugmotoren anzuwenden.

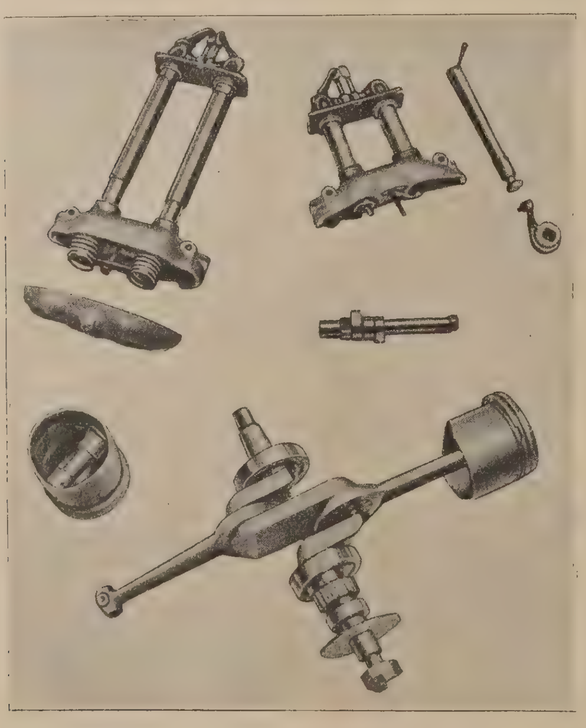


Abb. 11. Einzelteile des „Cherub"-Motors.

Für den Motorenkonstrukteur bietet der Kleinflugmotor eine Reihe neuer, nicht leichter Aufgaben. Als Leistung dürften gegenwärtig, wenn man nennenswerte und den Anforderungen genügende Steigleistungen erreichen will, 15 bis 20 PS in Frage kommen. Wenn irgend möglich, sollte man sehen, unter weitgehender Verwendung von Leichtmetall mit einem Einheitsgewicht von 1,5 kg/PS, d. h. mit 23 bis 30 kg für die ganze Maschine auszukommen. Die hohe Festigkeit des Duralumins wird ermöglichen, auch manche bewegte Teile des Triebwerkes erheblich leichter als bisher zu machen.

Bei so kleinen und leichten Maschinen kommt aber das Gewicht der Nebeneinrichtungen sehr in Betracht; vor allem nimmt der Zündmagnet einen großen Teil des Maschinengewichtes in Anspruch, was jeder Konstrukteur von Kleinmaschinen zur Genüge erfahren haben dürfte; für Kleinmotoren mit mehreren Zylindern haben wir überhaupt keinen leichten Magnet, und die Magnete für die großen Motoren, die rd. 7 kg wiegen, sind nicht verwendbar. Die Schwierigkeiten der Konstruktion eines genügend leichten Magnetapparates sollen nicht verkannt werden, aber hier ist sicherlich noch viel zu machen. Auch das Gewicht des Vergasers läßt sich durch Anwendung von Leichtmetall erheblich heruntersetzen.

Während wir bisher bei den Flugmotoren durchweg nach dem Viertaktverfahren arbeiten, scheint beim Kleinflugmotor das Zweitaktverfahren mit Kurbelkammerladung recht viel Erfolg zu versprechen, denn gerade hier kommen die Vorteile des Zweitaktes, wie einfache Bauart, Fortfall der Ventile, einfache Schmierung durch Beimischung des Schmieröles zum Brennstoff, recht zur Geltung; als Nachteil muß man einen etwas größeren Brennstoffverbrauch in den Kauf nehmen, der aber bei den kleinen Maschinen nicht so schwer ins Gewicht fallen dürfte. Die zwangläufige Steuerung der bisher selbsttätigen Kurbelkammerventile dürfte noch Fortschritte in der Erhöhung der Leistung bringen. Die Erzielung besten Massenausgleiches ist im Auge zu behalten; wegen des Abfallens der Drehzahlen beim Versagen eines Zylinders sollte die Zylinderzahl nicht zu niedrig, wenigstens nicht unter 3 sein.

Solange der Zwang des Versailler Vertrages besteht, wird die deutsche Industrie nicht in die Lage kommen, sich voll und ganz in den Dienst der Entwicklung des Flugmotors zu stellen, sondern nur auf die kleinen Leistungen beschränkt bleiben.

Daß Deutschland gewaltsam verhindert wird, mit seinen Mitteln die Weiterentwicklung rascher oder großer Flugzeuge und der zugehörigen Motoren zu fördern, wird der Entwicklung gewiß nicht dienen, und darin zeigt sich denn auch die ganze Kulturwidrigkeit, ja geradezu der Kulturrückschritt des sogenannten Friedensvertrages, den nichts anderes als kindische Angst vor deutschem Können diktiert hat. [A 385]

DIE NICHTEISENMETALLE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER LUFTFAHRZEUGE.

Von Dr.-Ing. E. H. Schulz, Dortmund.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924.

Die Bedeutung der Leichtmetalle und Leichtlegierungen für den Bau von Luftfahrzeugen — Eigenschaften und Behandlung — Rein-Aluminium — Duralumin — Aludur — Skleron — Lautal — Aluminiumgußlegierungen — Silumin — Magnesiumlegierungen — Elektron — Ausblick.

In Deutschland ist zweifellos vor dem Kriege die Metallurgie der Nichteisen-Metalle und ihrer Legierungen nur sehr wenig gepflegt worden, was besonders deutlich wird, wenn man sie mit ihrer größeren Schwester, der Metallurgie des Eisens, vergleicht. Wer als Eisenhüttenmann in das Nachbargebiet hineinzuschauen Gelegenheit hatte, der mußte feststellen, daß sich die Legierungskunde der Nichteisen-Metalle in der Praxis stellenweise auf dem Punkte der Entwicklung befand, der vergleichsweise in der Härtetechnik des Stahles dadurch gekennzeichnet war, daß man alle möglichen Stoffe als Zusätze zum Härtewasser als unumgänglich erforderlich betrachtete. Mit dieser mangelhaften Wissenschaftlichkeit im Zusammenhang stand eine sehr starke Geheimniskrämerei. Wurde doch während des Krieges teilweise in kleineren Metallwerken beim Guß von Metallformstücken die Anwendung eines verlorenen Kopfes zur Verringerung der Lunkerung als eine sehr geheimnisvolle und geheimzuhaltende Arbeitsweise betrachtet.

Mangel an Wissenschaftlichkeit und an Gemeinschaftsarbeit waren wohl die wesentlichsten Hemmungen in der Entwicklung, unter der in letzter Linie gerade, wenn auch unbewußt, diejenigen am meisten litten, die selbst diese Arbeitsweise begünstigten und ausübten.

Es muß, um das gleich vorwegzunehmen, der **Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure** als ein außerordentlich hohes Verdienst angerechnet werden, daß sie seit ihrer Gründung bald nach dem Kriege mit Eifer und Erfolg bemüht gewesen ist, diesem Zustand entgegenzuarbeiten zum Besten der Wissenschaft und der Praxis und damit auch unserer gesamten deutschen Technik und Wirtschaft.

Zuvor aber hatten wir noch einen harten Lehrmeister, den Krieg! Hart war er auch hier wie in mancher andern Beziehung, dazu aber obendrein ein etwas einseitiger Lehrer und Erzieher. Ich brauche nicht näher einzugehen auf sein „Lehrsystem" für unsere metallurgischen Arbeiten, das gekennzeichnet ist durch das Wort „Sparmetallwirtschaft" — es dürfte hinlänglich geläufig sein. Eine gute Folge hatte es aber zweifellos: wir wurden gezwungen, uns mit Legierungen der Nichteisen-Metalle eingehend zu beschäftigen, wir mußten aus dem Wenigen, was wir besaßen, das Höchste herausholen — und das ist auch geschehen. Es ist klar, daß manches von dem, was wir im Krieg anwandten und teilweise sogar, der Not gehorchend, als sehr brauchbar bezeichneten, bei der Wiederkehr normaler Verhältnisse bedeutungslos werden mußte und heute an sich nur noch geschichtlichen Wert hat; in allgemein wissenschaftlicher Beziehung aber haben auch diese Arbeiten uns genutzt, und manche Feststellungen haben einen dauernden Wert, der sogar vielleicht nach dem Krieg infolge fortschreitender Entwicklung noch bedeutungsvoller geworden ist. Dazu gehören vor allem die Nichteisen-Legierungen, die auf der heutigen Tagung in erster Linie interessieren, nämlich die **Leichtmetall-Legierungen**, und unter diesen insbesondere die des **Aluminiums**.

Nach anfänglichen Versuchen, das vor dem Krieg in Deutschland selbst nur in geringer Menge gewonnene Aluminium bzw. seine Legierungen weitgehend durch andre Metalle zu ersetzen, schlug man bekanntlich hinsichtlich dieses Metalles bald einen anderen Weg ein. Da Rohstoff für Aluminium auch in Deutschland zur Verfügung steht, schuf man im Krieg — und das ist eine Tat, die nicht unterschätzt werden darf — eine deutsche Aluminiumindustrie, die gegen Ende des Krieges und in der Nachkriegzeit einen beachtlichen Aufschwung nahm. Während die gesamte Erzeugung von Aluminium im letzten Friedensjahre 1913 in Deutschland, Österreich-Ungarn und der Schweiz zusammen nur 12 000 t betrug, ist jetzt unter Berücksichtigung des Inn-Werkes die deutsche Leistungsfähigkeit allein auf 30 000 t im Jahr gestiegen. Der Grund für die dauernde Bedeutung und die Entwicklung, die dieses „Kriegskind" genommen hat, liegt in einer besonderen Eigenschaft: Aluminium und seine Legierungen sind metallische Werkstoffe, die ihre Genossen fast alle in einem Punkte, der Leichtigkeit, übertreffen. Einzig das Magnesium vermag bislang praktisch in einen Wettbewerb einzutreten, es ist bekanntlich sogar noch leichter als das Aluminium. Dieses wurde infolge seiner Leichtigkeit als Werkstoff für den Luftschiff- und Flugzeugbau verwendet. Außer Aluminium kam als nichtmetallischer Werkstoff noch Holz als Konstruktionsmaterial für den gleichen Zweck in Betracht — es hat aber den Anschein, als ob die Tage des Holzes auch in dieser Beziehung gezählt seien[1]).

Reinaluminium.

Wenn wir die Aluminiumlegierungen betrachten wollen, so müssen wir wie in allen solchen Fällen von den Eigenschaften des reinen Metalls ausgehen. Wir kommen damit auch gleich zu einigen für die Aluminiumlegierungen als Leichtbau-Werkstoff allgemein gültigen Gesichtspunkten. Daher seien kurz die wesentlichen Einzelheiten über Aluminium mitgeteilt. Es hat das spezifische Gewicht von rd. 2,7, sein Schmelzpunkt liegt bei 658 °C. Das Schwindmaß beim Guß ist verhältnismäßig hoch, es beträgt etwa 1,8 vH. Verunreinigt ist das technisch gewonneue Aluminium in der Hauptsache durch Eisen und Silizium; die Reinheit schwankt, für die Normung sind in Aussicht genommen als Mindestreingehalte 99,5, 99,0 und 98,0 vH. Es ist auf der Strangpresse preßbar, walzbar und ziehbar. Kaltreckung verfestigt es wie alle Metalle, ein Glühen setzt die so erhöhte Festigkeit wieder herab. Über die Festigkeitseigenschaften in den verschiedenen Bearbeitungszuständen unterrichtet Zahlentafel 1.

Zahlentafel 1.
Festigkeitseigenschaften reinen Aluminiums.

	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung vH	Brinellhärte
Guß	5 bis 15	10 bis 3	—
stark kalt gereckt	23 „ 26	etwa 5	65 bis 68
kalt gereckt und geglüht	9 „ 12	40 bis 32	26 „ 31

Die Zahlentafel läßt auch ohne weiteres erkennen, weshalb weniger das reine Metall als seine Legierungen für Bauzwecke in Betracht kommen: Beim Guß und im geglühten Zustand ist die Festigkeit zu gering, sie läßt sich durch Kaltreckung zwar erheblich steigern, aber nur unter großer Einbuße an Dehnung. Hier liegt ein ähnliches Bild vor wie beim reinen Kohlenstoffstahl, der als solcher auch nicht die höchstwertigen Güteziffern erreichen läßt, sondern zunächst eine — man könnte sagen chemische — Veredlung durch Legierungsstoffe, insbesondere Nickel und Chrom, erfahren muß.

Ein gewisser Nachteil des Aluminiums ist sein verhältnismäßig niedriger Schmelzpunkt. Dazu sei gleich vorweg bemerkt, daß der Konstrukteur sich damit abfinden muß. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß man nicht in der Lage ist, durch Legierungszusätze den Schmelzpunkt des Aluminiums zu erhöhen, es sei denn, daß man so hohe Mengen Zusatz gibt, daß damit die Eigenart des Leichtmetalls verloren geht, ganz abgesehen davon, daß sich in den meisten Fällen damit auch noch andre nachteilige Eigenschaften einstellen. Bei der Mehrzahl der zuzusetzenden Legierungsmetalle tritt auch in den Grenzen, in denen wir sie praktisch ausnutzen können, bereits eine Erhöhung des spezifischen Gewichtes ein, allein die Höchstgrenze des Zusatzes liegt fast immer auch in Hinsicht auf die zu erzielenden Festigkeitseigenschaften so niedrig, daß dieser Umstand nicht erheblich ins Gewicht fällt.

Gerade hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften sind wir nämlich auch an gewisse Höchstgrenzen gebunden, die sich aus allgemein metallurgischen Überlegungen bis zu einem gewissen Grade ergeben, auch ohne daß man erst auf dem Wege langer kostspieliger Versuchsschmelzen dies feststellen müßte. Setzt man einem Metall ein anderes zu und bilden diese beiden Komponenten miteinander Mischkristalle, so ändern sich — wenigstens bis zu einem bestimmten Mischungsverhältnis — die Eigenschaften grundsätzlich in der Weise, daß die Streckgrenze und die Bruchgrenze steigen, die Dehnung aber mit steigenden Zu-

[1]) C. W. E. Meyer, Entwicklung und gegenwärtiger Stand des Metallflugzeugbaues. Deutsche Motor-Zeitschrift 1924.

satzmengen fällt. Man kann daher wohl die Festigkeit des Aluminiums durch geeignete Mischkristalle bildende Zusatzmetalle erheblich steigern, muß aber von einem gewissen Gehalt ab eine Einbuße an Dehnung mit in Kauf nehmen, und hier setzt selbstverständlich der Konstrukteur dem Metallurgen auch wieder eine Grenze. Über Zusatzmetalle, die keine Mischkristalle bilden, ist noch besonders zu sprechen.

Endlich ist noch achtzugeben auf eine weitere Eigenschaft des Aluminiums und damit auch seiner Legierungen, nämlich seine Widerstandsfähigkeit oder besser gesagt auf seine begrenzte Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse, auch gegen die Einwirkung von Wasser- und Luftfeuchtigkeit. Viel wird gerade über diesen Punkt gesprochen, und es hat nicht an Stimmen gefehlt, die hierauf immer wieder hinwiesen. Es muß aber demgegenüber festgestellt werden, daß unsre Gebrauchsmetalle eben alle keine Edelmetalle sind und insbesondere unser Hauptgebrauchsmetall, das Eisen, doch alles andre als witterungsbeständig ist, sich sogar weniger gut in dieser Richtung verhält als Aluminium. Auch hier kann ein Legieren nicht viel helfen, Aluminium und seine Legierungen müssen eben unter Umständen genau wie Eisen durch entsprechende Oberflächenbehandlung geschützt werden. Jedenfalls ist für den Luftfahrzeugbau das Aluminium hinsichtlich der Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse dem Holz unbedingt überlegen.

Aluminiumlegierungen.

Es entsteht nun die Frage: Welche Metalle bzw. Metalloide kommen als Zusatzstoffe für die Bildung von Gebrauchslegierungen des Aluminiums in Betracht?

Die wissenschaftliche Metallurgie überhebt uns auch hier gewisser Mühen, die sich eifrige Erfinder, deren es gerade auf dem Gebiete des Legierungswesens geradezu unglückselig viele gibt, zu machen pflegen. Wenn wir die Möglichkeiten der Art der Mischung zweier Metalle in Hinsicht auf ihre praktische Verwendungsfähigkeit und nach groben Gesichtspunkten betrachten, so können wir drei Fälle unterscheiden:

a) Die beiden Metalle bilden miteinander eine oder auch mehrere chemische Verbindungen. Solche Metallverbindungen sind fast immer spröde, häufig auch chemisch leicht angreifbar, also wenig widerstandsfähig gegen Korrosion. Aluminium neigt nun sehr dazu, mit anderen Metallen chemische Verbindungen zu bilden, was für die Herstellung von Legierungen dieses Metalles wohl beachtet werden muß. Allerdings verhalten sich diese chemischen Verbindungen gegenüber den Ausgangsmetallen teilweise so, daß man sie auffassen kann als selbständige Legierungskomponenten, also wie ein zum Legieren unmittelbar benutztes Metall, und hierbei — das ist bei Aluminium wiederum der Fall — treten die unangenehmen Eigenschaften der Metallverbindungen unter Umständen sehr zurück oder verschwinden ganz.

b) Im geraden Gegensatz dazu stehen die Metallpaare, die miteinander Mischkristalle bilden, die also im festen Zustand ineinander löslich sind. Aluminium zeigt bis zu gewissen Grenzen gegen andre Metalle bzw. gegen die von ihm selbst gebildeten Metallverbindungen eine solche Löslichkeit, also die Fähigkeit der Mischkristallbildung. Wie bereits erwähnt und wie auch bekannt, stellen solche aus Mischkristallen bestehenden Legierungen vielfach Baustoffe dar, welche die Einzelmetalle, aus denen sie entstanden, in den Festigkeitseigenschaften weitgehend übertreffen: hier liegt also auch für Aluminium die Möglichkeit der Herstellung hochwertiger Baustoffe vor.

c) Die dritte hier wichtige Möglichkeit ist endlich die, daß die beiden Metalle im festen Zustand weder chemische Verbindungen miteinander bilden noch ineinander löslich sind. Dieser Fall ist technisch auch recht bedeutsam, es sei nur an die Lagerweißmetalle erinnert. Er ist aber beim Aluminium ziemlich selten. Eine bemerkenswerte Ausnahme liegt allerdings vor, nämlich das System Silizium-Aluminium, das heute sehr an Bedeutung gewonnen hat; ich komme darauf noch zurück.

Es liegt auf der Hand, daß man auf Grund der beim Legieren eines Metalles mit andern auftretenden Möglichkeiten, wie sie eben geschildert wurden, schon — wenn man die Art des Verhaltens beim Legieren kennt — gewisse Aussagen hinsichtlich der Aussichten auf das physikalische Verhalten und die technische Verwendung als Baustoff machen kann. Abb. 1 zeigt die Legierungstafel von Prof. Guertler, aus der für die verschiedensten Metallpaare vorausgesagt werden kann, ob sie Nutzlegierungen sein können oder nicht. Und da ist für Aluminium festzustellen, daß nur verhältnismäßig wenig Metalle als Zusätze in Betracht kommen, die außerdem meist auch nur bis zu gewissen, nicht sehr hohen Grenzen eingebracht werden dürfen. In Betracht kommen vor allem Magnesium, Kupfer, Zink, in zweiter Linie und unter gewissen Voraussetzungen die Metalle der Eisengruppe und endlich der Zusatz von Silizium.

Des weiteren sind in letzter Zeit auch noch einige als Einzelmetalle kaum zu verwendende Elemente mit Erfolg in kleinen Mengen als Zusatzstoffe versucht worden, es handelt sich um Lithium und Beryllium. Andre Zusatzmetalle sind nach dem heutigen Stande unserer Kenntnis ohne zweckmäßige Wirkung oder sogar schädlich.

Wenn im nachfolgenden die Wirkung der einzelnen Zusatzmetalle kurz besprochen wird, so soll damit gleich verbunden werden die Behandlung der auch tatsächlich technisch hergestellten und verwendeten Legierungen, also derjenigen Gemische, die sich jeweils von den vielen möglichen als besonders brauchbar erwiesen haben.

Mit Magnesium bildet das Aluminium eine chemische Verbindung der Zusammensetzung Al_3Mg_2, diese wiederum kann, wie das Erstarrungsdiagramm, Abb. 2, erkennen läßt, mit dem Reinaluminium Mischkristalle bilden, und zwar bis zu einem Gehalt von etwa 12 vH Magnesium bei 450° C bis zu etwa 2 vH bei Raumtemperatur. Die Mischkristalle zeigen also die Besonderheit einer Abhängigkeit ihrer Konzentration von der Temperatur, und zwar nimmt die Aufnahmefähigkeit des Aluminiums für Magnesium bzw. die Verbindung Al_3Mg_2 mit fallender Temperatur ab. Die Mischkristallbildung ergibt eine erhebliche

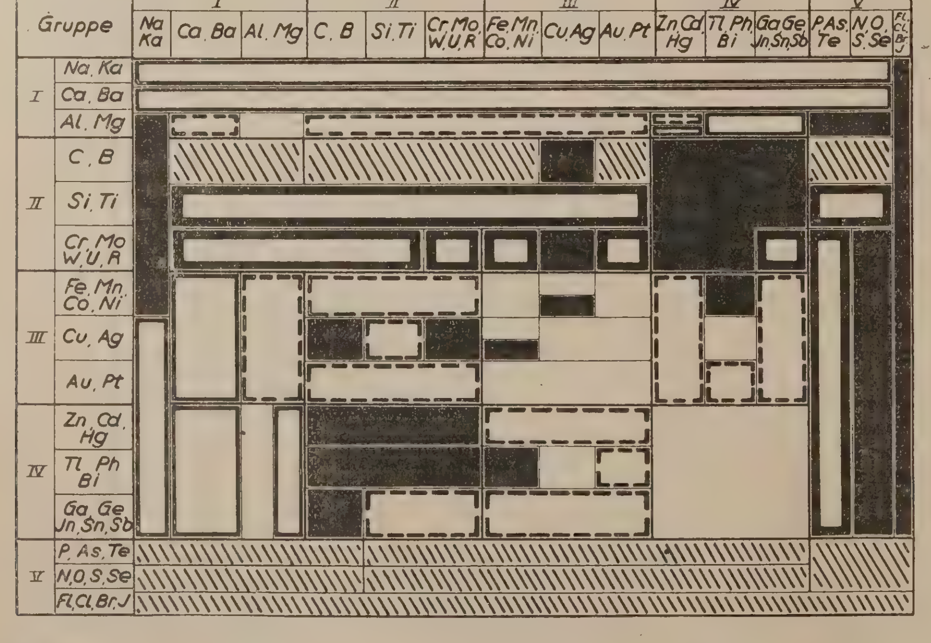




Abb. 1. Legierungstafel nach Guertler.

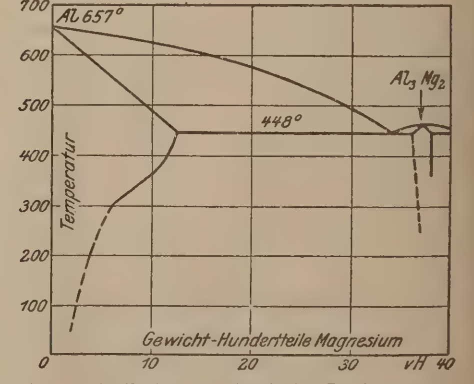


Abb. 2. Teilschaubild der Al-Mg-Legierungen (nach Sander und Meißner).

Steigerung der Härte und Festigkeit des mit Magnesium legierten Aluminiums, die bereits verhältnismäßig früh erkannt und verwertet wurde: Unter dem Namen Magnalium kamen bereits vor einer ganzen Reihe von Jahren Legierungen des Aluminiums mit verschiedenen, meist aber für unsre heutigen Begriffe recht hohen Gehalten an Magnesium auf den Markt. Es gelang ihnen größtenteils aber nicht, eine dauernde Bedeutung zu erringen, in der Hauptsache wohl eben deshalb, weil die Magnesiumzusätze zu hoch gewählt wurden.

Duralumin.

In ganz neue Bahnen gelenkt wurde die Frage der Magnesium-Aluminium-Legierungen im Jahre 1909 durch Wilm, den damaligen Vorsteher der metallurgischen Abteilung der Zentralstelle für technisch-wissenschaftliche Untersuchungen in Neubabelsberg. Wilms Erfindung oder Entdeckung muß für die Ausbildung unserer Leichtmetall-Legierungen als eine Großtat ersten Ranges bezeichnet werden — aus verschiedenen Gründen muß das an dieser Stelle hervorgehoben werden. Mit der Erfindung des Duralumins konnte überhaupt erst das Aluminium in ernstlichen Wettbewerb mit anderen metallischen Baustoffen für Konstruktionen eintreten, bei denen es auf die Festigkeitseigenschaften ankam. Zweitens beweist die Wilmsche Erfindung, daß tatsächlich wissenschaftliche Forschung unsre Metallkunde nicht selten einen Riesenschritt in ihrer Entwicklung weiter bringen kann, der kaum durch rein praktisches Probieren zu machen ist. Und endlich ist auch gerade heute der Geschichtsschreiber auf diesem Gebiete gezwungen, die Wilmsche Priorität zu unterstreichen, da im Auslande, besonders in England, leider Bestrebungen festzustellen sind, den Gedanken der Wilmschen Erfindung zurückzudrängen, es so darzustellen, als ob die Fragen, die mit dem Duralumin zusammenhängen und sich aus ihm ergeben, erst im Ausland in der rechten Weise eine Bearbeitung erfahren hätten. Gewiß ist nach Wilm auf diesem Gebiete sowohl in Deutschland wie im Auslande viel gearbeitet worden — insbesondere hinsichtlich der Erklärung der inneren Vorgänge bei der sogenannten Duraluminveredelung, die dem Erfinder selbst noch nicht so klar waren, wie wir sie heute sehen, und auch hinsichtlich der Ausbildung duraluminähnlicher Legierungen; das ändert aber nichts an der Tatsache, daß Wilm die Veredelungsfähigkeit entdeckte, die damit zu einer Tat deutscher metallkundlicher Forschung wurde.

Da gerade die Frage der veredelungsfähigen Aluminiumlegierungen wissenschaftlich und praktisch heut eine außerordentlich große Beachtung und Behandlung erfährt, können wir nicht umhin, uns auch mit der grundsätzlichen Erfindung hier zu beschäftigen, wenngleich sie, wie gesagt, bereits 15 Jahre zurückliegt.

Was ist der Kern der Erfindung des Duralumins und damit auch seiner Abkömmlinge bzw. der ihm ähnlichen Legierungen? Wilm stellte fest: Wenn man eine Legierung mit einem geringen Gehalt an Magnesium, die außerdem noch Schwermetalle enthielt — was aber nicht unbedingt erforderlich ist —, nach einem Walzen oder einer ähnlichen Reckbehandlung über eine gewisse Temperatur hinaus erhitzt und sie dann schnell abkühlt, am besten durch Abschrecken, so zeigt der Werkstoff bei Prüfung unmittelbar nach dieser Behandlung zwar ziemlich genau die gleiche Härte und Festigkeit wie vor dieser Behandlung — beim Lagern bei Raumtemperatur tritt aber dann eine Änderung ein in dem Sinne, daß sich die genannten mechanischen Werte steigern. Festzustellen ist diese Änderung in geringem Maße bereits nach zwei Stunden, sie wird erheblich nach etwa einem Tage, um dann noch langsamer weiterzugehen, bis nach etwa fünf Tagen die Höchstwerte erreicht werden. Durch ein erneutes Erhitzen schon auf nur 300 °C verschwindet diese Vergütung.

Das Duralumin wird bekanntlich von den Dürener Metall-Werken hergestellt und auf den Markt gebracht. Anläßlich der Aluminium-Tagung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im März d. J. hat Direktor Beck über den jetzigen Stand der Duraluminlegierungen eingehend berichtet[1]). Danach ergibt sich folgendes Bild:

Die grundsätzlichen Forderungen für die Herstellung, Behandlung und Verwendung des Duralumins sind:

1. Die Legierung muß Magnesium enthalten; meist sind ihr außerdem noch andre Metalle, insonderheit Kupfer und Mangan zugesetzt.

2. Die Legierung muß eine Reckbehandlung (Walzen, Pressen usw.) erfahren haben; die Behandlung zur Veredelung muß den Abschluß der gesamten Reck- und Wärmebehandlung darstellen, es darf ihr keine Wärmebehandlung mehr folgen, lediglich schwache Formänderungen sind nachträglich zulässig, Bleche können aber noch kalt gewalzt, Stangen und Draht kalt gezogen werden.

3. Die Glühtemperatur für die Veredelung muß über 420 °C liegen.

4. Die Legierung soll nach dem Glühen an der Luft oder besser durch Abschrecken abgekühlt werden; durch Abschrecken werden bessere Ergebnisse erreicht (Bruchgrenze etwa 3 bis 4 kg/mm² höher). Luftabkühlung sollte daher nur für kleine Stücke angewandt werden.

5. Anschließend sollen die so behandelten Stücke lagern. Man sollte möglichst immer die Lagerung auf fünf Tage ausdehnen, in dringenden Fällen kann sie allerdings auf zwei abgekürzt werden.

Insonderheit für die Vergütung sind noch folgende Punkte von Bedeutung. Wie erwähnt, soll die Legierung vor der Vergütung eine Reckbehandlung erfahren haben. Formguß aus Duralumin ist nicht veredelbar; höchstens in Stücken von sehr kleinen Abmessungen, die also infolge schneller Erstarrung feinkörnig und ohne erhebliche (Kristall-) Seigerungen erstarrt sind, läßt sich ein Einfluß einer Vergütungsbehandlung feststellen. Der Einfluß der Vergütung ist beim gereckten Material um so deutlicher, je kräftiger der Werkstoff bei der Reckbehandlung durchgearbeitet ist. Unterzieht man Duralumin einer ähnlichen wie für die Vergütung vorgeschriebenen Wärmebehandlung, wobei man jedoch nur auf eine Glühtemperatur unter 350 °C geht, so tritt die Veredelung nicht ein, diese Glühung wirkt vielmehr (auch bei einem nachfolgenden Abschrecken) wie eine Weichglühung. Erst wenn die Glühtemperatur mindestens 360 °C war, ist nach Lagerung eine Erhöhung der Härte feststellbar, die aber um so stärker wird, je höher die Glühtemperatur gewählt wurde; die günstigste Glühtemperatur liegt bei 520 °C. Werden Bleche, Stangen oder Drähte nach der Veredelung noch einem Kaltrecken durch Walzen oder Ziehen unterworfen, so werden die Härte und die Festigkeit je nach dem Grade dieser Kaltreckung gesteigert, jedoch (wie dies auch für andre Metalle und Legierungen normal ist) unter entsprechendem Abfall der Dehnung, so daß der Ausnutzung dieser die Festigkeit steigernden Nachbehandlung gewisse Grenzen gesetzt sind. Bereits ein Nacherhitzen der veredelten Legierung auf verhältnismäßig geringe Temperaturen von etwa 200 °C setzt die Veredelung wieder herab; es zeigen sich in Fällen einer solchen Nachbehandlung bald wieder die Eigenschaften des geglühten Materials. Träger der Veredelung ist das Magnesium, da der Eintritt der Veredelung von seiner Anwesenheit abhängt. Das Duralumin wird jedoch zur Erzielung besserer Festigkeitseigenschaften normalerweise noch mit Kupfer und Mangan legiert, von denen besonders das letztere härtesteigernd wirkt, so daß der Gehalt daran nicht zu hohe Grenzen erreichen darf. Duralumin zeigt daher gewöhnlich die Zusammensetzung:

etwa 0,5 vH Magnesium
3,5 bis 4,5 vH Kupfer
0,25 bis 1,0 vH Mangan.

Außerdem sind selbstverständlich im Duralumin die Verunreinigungen des technischen Aluminiums, Eisen und Silizium, enthalten.

Ehe zu den Festigkeitseigenschaften des Duralumins übergegangen wird, sei kurz noch die nach diesen Darlegungen sich aufdrängende Frage behandelt: auf welchen inneren Vorgängen beruht der Veredelungsvorgang? Es hat selbstverständlich von der Erfindung an nicht an Bemühungen gefehlt, diese inneren Vorgänge zu erklären. In gewisser Weise erinnert ja die Veredelung des Duralumins an die Härtung oder an die Vergütung des Stahles, und es ist bekannt, daß die Gefügeuntersuchung diese für die Metallfachleute und die Konstrukteure gleich wichtigen Vorgänge weitgehend erhellt hat. Alle Bemühungen aber, auch den Vorgang der Duraluminveredelung auf dem Wege der Gefügeuntersuchung zu erfassen, sind bis heute leider erfolglos geblieben. Wir sind auf andere mehr mittelbare Untersuchungsverfahren angewiesen, auf die im einzelnen einzugehen an dieser Stelle zu weit führen würde, ganz abgesehen davon, daß eine wirkliche, allgemein anerkannte Erklärung auch auf diesen Wegen bislang noch nicht gelungen ist.

Besonders die Amerikaner haben versucht, eine Klärung bzw. eine Theorie zu finden, die aus dem Erstarrungsschaubild abgeleitet werden könnte. Es ist oben bereits erwähnt (siehe Abb. 2), daß die Verbindung Al_3Mg_2 mit dem Reinaluminium Mischkristalle bildet, dabei enthalten diese Mischkristalle bei höherer Temperatur 12 vH, bei Raumtemperatur dagegen nur 2 vH Magnesium. Ähnliche Verhältnisse liegen bei Kupfer bzw. der von diesem mit

[1]) Zeitschrift für Metallkunde Bd. 16 (1924) S. 122.

Aluminium gebildeten Verbindung $CuAl_2$ vor, wie Abb. 3 erkennen läßt. Eine von Merica, Zay Jeffries und Archer entwickelte Theorie besagt: durch die Erhitzung zum Zwecke der Vergütung werden diese beiden Verbindungen, besonders die des Kupfers, in erhöhtem Maße gelöst. Durch ein Abschrecken wird dann verhindert, daß die sonst bei der Abkühlung vor sich gehende Ausscheidung der Verbindung eintreten kann, ein Vorgang, wie er ja in ganz entsprechender Weise grundsätzlich auch beim Abschrecken des Stahles (System Eisen-Eisenkarbid) vorliegt. Während sich aber beim Stahl dieses Inlösunghalten sofort in der Härtung bemerkbar macht, ist dies bei den in Frage kommenden Aluminiumlegierungen nicht der Fall. Jedoch ist der abgeschreckte Zustand wieder ebenso wie beim Stahl) labil; es liegt das Bestreben der Verbindung vor, sich wieder auszuscheiden.

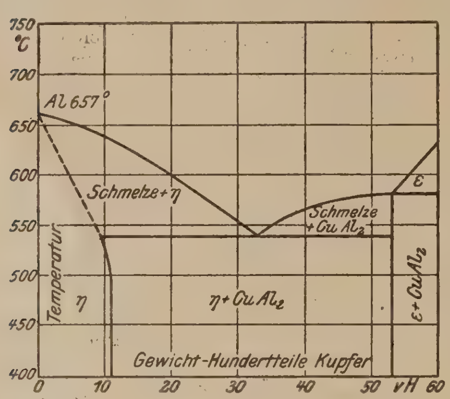


Abb. 3. Teilschaubild der Al-Cu-Legierungen.

Beim Stahl tritt diese Ausscheidung bekanntlich bei einem erneuten Erhitzen, und zwar auf Temperaturen unterhalb der Abschrecktemperatur, d. h. beim Anlassen ein. Bei Duralumin soll nun ein solches Erhitzen nicht nötig sein, die Raumtemperatur soll bereits genügen, eine Abscheidung herbeizuführen. Infolge des geringen Diffusionsvermögens der Metalle bei Raumtemperatur kann diese Ausscheidung aber nur in äußerst feiner, vom Mikroskop nicht erfaßbarer Form, also ultramikroskopisch, vor sich gehen, und diese feine Form der Ausscheidung soll die Härte- und Festigkeitssteigerung herbeiführen. Erhitzt man dagegen die abgeschreckte Legierung, so können die ausgeschiedenen feinsten Teilchen diffundieren, sich vereinigen und so wird der stabile Zustand wieder erreicht, der die hohen Festigkeitswerte nicht zeigt. Die Lagerung würde demnach vergleichsweise dem schwachen Anlassen des gehärteten Stahles entsprechen. Die Wirkung der ausgeschiedenen feinsten Teilchen der Verbindung erklärt Jeffries dahin, daß sie die für die Deformation des Metalls wesentliche Bildung von Gleitebenen als eingelagerte harte Körner behindern. Nach englischen Forschern sollen die Vorgänge zwar im wesentlichen den dargelegten entsprechen, jedoch soll die maßgebende Verbindung Mg_2Si sein, während Mg_2Al_3 nur eine mittelbare Rolle spielt, indem es die Lösungsfähigkeit des Aluminiums für Mg_2Si herabsetzt. Japanische Forscher legen ebenfalls dem Mg_2Si eine Bedeutung für den Veredelungsvorgang bei, sie ziehen aber außerdem noch Umwandlungen des Aluminiums mit in den Kreis der wirksamen Umstände.

Diese an sich für die Auslegung des Vorgangs recht einleuchtenden Betrachtungen werden aber von deutscher Seite, von Fränkel, Seng und Scheurer[1]) unter Hinweis darauf abgelehnt, daß die Vergütung auch beim Zink und Magnesium durchführbar ist, wo die Erklärung nicht paßt, ferner durch ihre Feststellung, daß bei der Vergütungslagerung der elektrische Widerstand steigt, was nicht einen Zerfall von Mischkristallen, sondern gerade deren Bildung anzeigt. Sie nehmen daher an, daß die Veredelung von der Bildung von Mischkristallen allein abhängt, die durch ein Erwärmen erst unter Verschwinden der guten Festigkeitseigenschaften zerlegt werden. Es wird sicherlich gelingen, die schwierigen und verwickelten inneren Vorgänge restlos aufzuklären. Einstweilen ist Sicherheit noch nicht geschaffen, wir müssen uns damit begnügen, daß wir im Duralumin und in seinen Abkömmlingen, von denen noch zu sprechen sein wird, eine außerordentlich hochwertige Aluminiumlegierung besitzen.

Welche Eigenschaften mit der Legierung zu erzielen sind, sei daher kurz dargelegt. In Zahlentafel 1 wurden die Festigkeitseigenschaften des reinen Aluminiums im stark kalt gereckten und im geglühten Zustande mitgeteilt. Zum Vergleich gibt Zahlentafel 2 die Festigkeitswerte verschiedener vergüteter Duraluminsorten[2]). Im veredelten Duralumin gelingt es demnach, die Festigkeit gegenüber dem geglühten Reinaluminium auf rd. das Vierfache zu steigern, wobei die Dehnung allerdings auf etwa die Hälfte fällt, so daß sich die Erhöhung der aus beiden Ziffern sich

Zahlentafel 2.

Festigkeitseigenschaften von Duralumin (veredelt).

Legierung	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung vH	Zusammenziehung vH	Kerbzähigkeit mkg/cm²
681 B 1/3 . .	38 bis 41	18 bis 21	18 bis 30	1,40 bis 1,58
681 B . . .	38 „ 42	18 „ 20	15 „ 30	1,32 „ 1,49
Z	41 „ 44	17 „ 19	14 „ 28	1,00 „ 1,15

ergebenden Wertigkeit als Konstruktionsstoff roh gesprochen als eine Verdoppelung darstellt. Wie bereits erwähnt, kann durch Kaltreckung die Bruchgrenze noch erheblich gesteigert werden, allerdings unter Einbuße an Dehnung. Die sogenannte „Härte ½" weist Bruchgrenzen auf, die rd. 3 kg/mm² höher liegen als im nur veredelten Material, die Dehnung sinkt dabei auf einen um rd. 5 vH geringern Betrag. Stärkere Kaltreckung ergibt bei „681 B" z. B. eine Bruchgrenze von rd. 60 kg/mm², jedoch bei nur 3 vH Dehnung.

Die Streckgrenze liegt beim veredelten Duralumin bei etwa 66 vH, bei kalt nachverdichtetem (Härte ½) bei etwa 75 vH der Bruchgrenze. Verhältnismäßig gering ist wie bei allen Aluminiumlegierungen die Kerbzähigkeit.

Man hat häufig das Duralumin in seinen Festigkeitswerten dem Flußeisen gleichgesetzt. Es muß festgestellt werden, daß tatsächlich die Bruchgrenze des veredelten Duralumins durchaus der des Flußeisens entspricht, jedoch bleibt die Dehnung um einen merklichen Betrag gegen die des Flußeisens zurück. Abb. 4 gibt eine Zusammenstellung der Bruchgrenze und Dehnung einiger Duraluminsorten und von zwei Sorten Flußeisen, die so ausgewählt sind, daß die Bruchgrenze des ersten Flußeisens etwa der der beiden ersten, die des zweiten der der dritten (kalt gereckten) Duraluminprobe entspricht. Es ist jeweils das Rechteck aus Dehnung (Abszisse) und Bruchgrenze (Ordinate) gebildet. Der Vergleich der Flächen der Rechtecke läßt ohne weiteres erkennen, daß sich doch immerhin in der Leistungsfähigkeit sogar des Flußeisens (von legiertem Stahl garnicht zu reden) ein starker Vorsprung zeigt. Noch weniger entspricht die als Maßstab des Formänderungsvermögens wichtige Zusammenziehung beim Zerreißversuch der des Flußeisens, die mit 60 bis 75 vH angesetzt werden kann gegen höchstens 30 vH beim Duralumin. Und schließlich ist Duralumin dem Flußeisen ganz erheblich unterlegen in der Kerbzähigkeit, die beim Flußeisen den zehnfachen Betrag erreicht. Das muß der Klarheit halber hervorgehoben werden, um so mehr als es wohl kaum gelingen wird, in diesen Richtungen noch sehr erhebliche Verbesserungen der Aluminiumlegierungen zu erreichen. Damit verliert aber das Duralumin keinesfalls seine große Bedeutung als leichtes und hochwertiges Konstruktionsmetall, nur muß der Konstrukteur, wenn er Duralumin mit Flußeisen vergleicht, diese Unterschiede, wo sie von Bedeutung sein können, berücksichtigen.

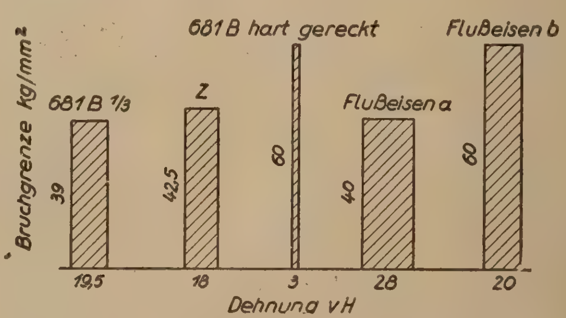


Abb. 4. Festigkeitswerte von Duraluminium und Flußeisen.

Einige weitere Angaben, die grundsätzlich auch für die dem Duralumin ähnlichen Legierungen zutreffen, seien anschließend noch gebracht. Duralumin läßt sich zwar löten und schweißen, doch sollten diese Verbindungsarten beim vergüteten Duralumin nicht angewandt werden, wenn es sich um tatsächlich beanspruchte Teile handelt, da die mit diesen Behandlungen verknüpfte Erwärmung der der Löt- oder Schweißnaht benachbarten Stellen in diesen die Veredelung natürlich aufhebt. Auch eine nachträgliche Wärme- oder Hämmerbehandlung vermag der Schweißnaht und den benachbarten Zonen nicht die ursprüngliche Festigkeit wiederzugeben. In Konstruktionen ist daher meist die Nietung als Verbindung vorzuziehen. In der Kälte verhält sich Duralumin bemerkenswert gut. Bei — 190 °C sind Bruchgrenze und Dehnung sogar noch höher als bei der Raumtemperatur, die Kerbzähigkeit bleibt in der Kälte unverändert, während sie bei Flußeisen bekanntlich sehr stark abnimmt.

[1]) Zeitschrift für Metallkunde Bd. 12 (1920) S. 225; Bd. 14 (1922) S. 49, 111.
[2]) Nach Beck, Zeitschrift für Metallkunde Bd. 16 (1924) S. 124.

Gegen chemische Angriffe verhält sich Duralumin besser als Reinaluminium, und zwar wächst seine Korrosionsbeständigkeit mit dem Mangangehalt.

Nach dem Gesagten ist bereits anzunehmen, daß die Veredelungsfähigkeit auch gewissen Legierungen zukommt, die mehr oder weniger in ihrer Zusammensetzung von der des Duralumins abweichen. Zunächst könnten Legierungen hergestellt werden, die zwar Magnesium als den Träger der Vergütung enthalten, in denen aber statt Kupfer und Mangan andere Zusatzstoffe enthalten sind. Es hat nach dieser Richtung nicht an Versuchen gefehlt, insbesondere das Kupfer durch Zink zu ersetzen, und tatsächlich treten bei solchen Legierungen die Vergütungsvorgänge auch auf. Leider aber zeigen die Zink-Aluminiumlegierungen ungünstige Eigenschaften, die im einzelnen noch nicht geklärt sind, aber wohl zusammenhängen mit der recht verwickelten Form des Erstarrungs- und Umwandlungs-Diagramms der Zink-Aluminiumlegierungen. Zink-Aluminiumlegierungen zeigen in manchen Fällen noch lange nach ihrer Herstellung infolge von Volumenänderungen die Neigung zu selbständigen Formänderungen, zum Einreißen. Sie sind auch häufig erheblich weniger widerstandsfähig gegen Korrosion. Vielleicht gelingt es noch, durch nachhaltige Erforschung gerade der inneren Vorgänge bei der Verarbeitung auch die Zink-Aluminiumlegierungen fester in die Hand des Metallfachmannes zu bringen, so daß jene Anstände dann überwunden werden könnten. Vorläufig ist bei der Verwendung des mit Zink legierten Aluminiums noch größte Vorsicht geboten, und ein Ersatz des Kupfers im Duralumin durch Zink dürfte als wenig zweckmäßig anzusprechen sein.

Dagegen haben Versuche nach einer anderen Richtung in neuerer Zeit Erfolge gehabt. Wenngleich über die innern Vorgänge restlose Klarheit noch nicht besteht, so muß doch als sicher angenommen werden, daß die Möglichkeit einer Veredelung vorliegt, wenn Mischkristalle aus Aluminium und einer andern Komponenten vorhanden sind, die bei sinkender Temperatur weniger löslich sind als bei höherer. Dies Verhalten liegt nun nicht allein beim Magnesium vor, sondern auch bei Kupfer, Zink, Silizium, Kalzium und Lithium, die mit Aluminium, teilweise auch noch untereinander, Verbindungen bilden, die bis zu gewissen Grenzen im Reinaluminium löslich sind und bei denen die Löslichkeit mit fallender Temperatur abnimmt. Allerdings liegen natürlich die Verhältnisse im einzelnen teilweise verschieden.

Aludur.

Aludur ist eine neuere Legierung, die durch die Leichtmetall-Studien- und Verwertungs-Gesellschaft m. b. H., München, verwertet wird und die grundsätzlich sicher als Abkömmling des Duralumins zu betrachten ist. Über die Art der Legierung liegt Klarheit noch nicht vor, jedenfalls fanden Heyn und Wetzel Magnesium darin, doch sind auch andere Zusatzmetalle vorgesehen[1]). Die Wärmebehandlung zur Veredelung ist durch Patent geschützt und unterscheidet sich in einem Punkte von der des Durlalumins: Aludur wird zwar wie dieses einer Glühung und einer anschließenden Abschreckung unterworfen, die Veredelung wird dann aber nicht durch ein Lagern, sondern durch ein als „Warmhärtung" bezeichnetes Anlassen auf etwa 160 °C herbeigeführt. Es könnte angenommen werden, daß der die Vergütung bedingende Vorgang beim Aludur etwa träger verläuft und insofern der Erhitzung bedarf, um in genügender Weise vor sich zu gehen. Dazu ist aber zu bemerken, daß auch beim Duralumin der Verlauf der Verfestigung bei der Lagerung hinsichtlich seiner Geschwindigkeit von der Temperatur abhängig ist: die Kälte wirkt verzögernd, bei der Temperatur der flüssigen Luft ist die bei Raumtemperatur schon nach Stunden feststellbare Vergütung auch nach Monaten nicht zu erkennen. Hier scheinen, wie sich auch aus den Untersuchungen von Heyn und Wetzel ergibt, noch gewisse Unklarheiten vorzuliegen. Auch Aludur ist in erster Linie in der Form gereckten Materials zu verwenden, wenn wirklich eine nennenswerte Veredelung erreicht werden soll.

Zahlentafel 3. Festigkeitseigenschaften verschiedener Aluminiumlegierungen.

Bezeichnung	Zustand	Bruchgrenze kg/mm²	Dehnung vH	Brinellhärte
Duralum. 681 B	veredelt	38 bis 42	18 bis 20	118
	kalt gereckt	43 „ 46	12 „ 15	125
Aludur D533	veredelt	27 „ 30	10 „ 15	80 bis 90
Aludur 570 D	„	38 „ 45	14 „ 20	90 „ 100
Skleron . . .	„	≥ 40	≥ 20	—
Lautal . . .	„	40 bis 43	20 bis 25	—

[1]) Zeitschrift für Metallkunde Bd. 14 (1922) S. 465.

Da die Veredelung des Aludurs bei 160 °C durchgeführt wird, tritt ein Abfall der durch die Veredelung erreichten Festigkeitseigenschaften in schnellem Maß erst ein, wenn die vergüteten Legierungen auf mehr als 200 °C erwärmt werden.

Über die in verschiedenen Aludurlegierungen zu erzielenden Festigkeitseigenschaften gibt Zahlentafel 3 Auskunft, in die auch die noch weiter zu besprechenden Legierungen mit aufgenommen sind. Die Legierung „570 D" entspricht demnach in ihren Festigheitseigenschaften etwa dem Duralumin „681 B", während „533 D" geringere Festigkeit und geringere Dehnung hat als dieses. Selbstverständlich läßt sich auch die Festigkeit des Aludurs durch Kaltreckung nach der Veredelung noch steigern.

Skleron.

In der Legierung Skleron der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft wird die Veredelbarkeit hervorgebracht durch einen Lithiumgehalt. Der Werkstoff hat ferner ähnlich wie Duralumin noch Zusätze von Kupfer, Zink und Mangan. Es entspricht hinsichtlich der sonstigen Bedingungen für die Behandlung wohl weitgehend dem Duralumin. Erreicht wird eine Bruchgrenze von 40 kg/mm² bei 20 vH Dehnung, Werte, die denen des Duralumins entsprechen.

Lautal.

Durch einen Zusatz von Kupfer und Silizium endlich wird die Veredelbarkeit in der Legierung Lautal erreicht, deren Wärmebehandlung noch nicht im einzelnen bekanntgegeben ist, aber der des Duralumins wohl im wesentlichen entsprechen dürfte. Auch diese Legierung soll eine Bruchgrenze von 40 kg/mm² und darüber bei 20 vH und mehr Dehnung erreichen lassen. Im kaltgereckten Zustande soll bei 50 kg/mm² Bruchgrenze noch 10 bis 12 vH Dehnung vorhanden sein; das wären Werte, die als sehr gut bezeichnet werden müßten.

Sonstige Aluminiumlegierungen.

Damit wäre die Reihe der im gereckten Zustand — also gewalzt, gepreßt, gezogen — zur Verwendung kommenden Aluminiumlegierungen im wesentlichen erschöpft, selbstverständlich kommen noch andre Legierungen in Betracht, indessen dürfte der Vorsprung der eben besprochenen Legierungen infolge ihrer Veredelbarkeit so groß sein, daß zum mindesten für hochbeanspruchte Teile oder für die Notwendigkeit großer Sicherheit, also gerade im Luftfahrzeugbau, die andern Legierungen kaum in Wettbewerb treten können. Bemerkt sei nur noch, daß nach englischen Untersuchungen ein Nickelzusatz zu Legierungen von der Art des Duralumins sehr günstig wirken soll. Insbesondere soll die auf Grund dieser Feststellung ausgebildete „Legierung Y" bei höheren Temperaturen dem Duralumin erheblich in der Festigkeit überlegen sein; ferner wird ihr ein sehr hoher Korrosionswiderstand zugesprochen.

Aluminium-Gußlegierungen.

Einzugehen wäre dagegen noch kurz auf die für Formguß zur Verwendung kommenden Aluminiumlegierungen. Hier hatte im Laufe der Zeit eine gewisse Normalisierung eingesetzt, insofern, als besonders zur Anwendung kamen die sogenannte deutsche Gußlegierung mit 10 vH Zink und 2 vH Kupfer und die amerikanische Legierung mit 8 vH Kupfer. Als Zusätze zu Gußlegierungen wurde ferner noch gelegentlich außer Mangan auch Nickel und in geringerem Maß auch Eisen benutzt, da diese Metalle die Lunkerung und Schwindung merklich herabsetzen. Zu erwähnen ist an dieser Stelle auch ein Zinnzusatz bis zu 6 vH zu Kupfer-Aluminiumlegierungen, der die Bearbeitbarkeit mit schneidenden Werkzeugen in außerordentlich günstigem Sinne beeinflußt, wie dies durch keinen andern Zusatz in gleichen Maß erreicht wird. Nur ein Magnesiumzusatz vermag eine einigermaßen vergleichbare Wirkung hervorzubringen.

Aber auch bei den Gußlegierungen ist in neuerer Zeit ein sehr beachtlicher Fortschritt zu verzeichnen durch die Erfindung und die Einführung des Silumins. Silizium, das sich ja in Mengen von einigen Tausendteilen im technischen Aluminium stets findet, wurde früher, obwohl seine festigkeitsteigernde Wirkung grundsätzlich schon länger bekannt war, als ein Schädling im Aluminium angesprochen. Bei der Legierung Silumin ist dieser angebliche Schädling dagegen zu günstigen Diensten gezwungen worden. Abb. 5 zeigt das Erstarrungsschaubild der Silizium-Aluminiumlegierungen: es liegt nur sehr geringe Mischbarkeit im festen Zustande vor, bei rd. 12 vH Silizium liegt das bei 578 °C schmelzende Eutektikum. Die Verwendung dieser Zusammensetzung als Gußmaterial bot von vornherein Vorteile: da Silizium leichter ist als Aluminium, ist das spezifische Gewicht der Legierung mit dem Wert 2,6 sogar etwas geringer

als das des Reinaluminiums. Die Legierung erstarrt ferner infolge ihrer eutektischen Zusammensetzung bei einer bestimmten Temperatur, im Gegensatz zu den ein Erstarrungsintervall zeigenden andern Gußlegierungen. Sie füllt daher die feinsten Formteile sehr gut aus, was auch durch ihren niedrigen Schmelzpunkt begünstigt wird. Endlich hat sie ein geringeres Schwindmaß als Reinaluminium, nämlich nur 1 vH. Aber diese Vorteile kamen nicht zur vollen Geltung, solange man die Legierung ohne weitere Vorbehandlung verwenden wollte, da die verhältnismäßig grobe Struktur des Eutektikums keine günstigen Festigkeitseigenschaften erreichen ließ.

Hier setzt das Siluminpatent ein[1]). Danach wird die Schmelze vor dem Gießen einer besondern Behandlung unterworfen, die in einem Einrühren von 1 bis 2 vH Alkalifluorid mit oder ohne Zusatz von Fluorid eines Erdalkalimetalles besteht. Man wäre vielleicht zunächst versucht, die günstige Wirkung einer solchen Behandlung einer Raffinationswirkung des Zusatzes zuzuschreiben. Dies trifft aber nicht den Kern, es bildet sich vielmehr auf Grund dieser Behandlung statt des sonst normalen groben ein äußerst feinkörniges Eutektikum aus. Restlos ist auch der innere Zusammenhang dieses Vorganges noch nicht aufgeklärt. Angenommen wird, daß ein Teil des Alkalifluorids zerlegt wird, wodurch kleine Mengen Alkalimetall (Natrium) in die Schmelze gelangen, die die Kristallisationsgeschwindigkeit herabsetzen und die Zahl der sich bildenden Kristallkerne erhöhen. Auch eine Abschreckung beim Guß müßte demnach ähnlich wirken, dies ist auch der Fall, jedoch bleibt die Wirkung hinter der des genannten Verfahrens zurück.

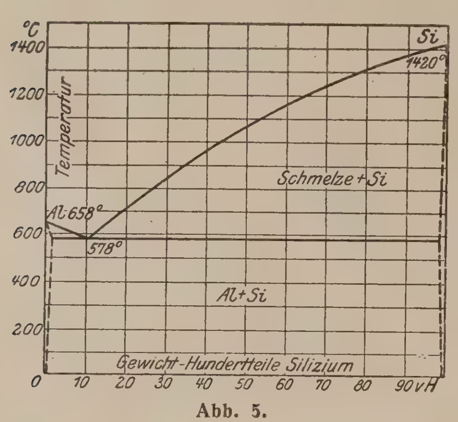


Abb. 5.
Erstarrungsschaubild der Al-Si-Legierungen.

Auf jeden Fall erhält man im Silumin eine recht hochwertige Gußlegierung, besonders auch hinsichtlich der Zähigkeit. Es steigt nämlich die Festigkeit in der eutektischen Siliziumlegierung durch die Behandlung von 11 bis 17 kg/mm² auf 18 bis 25 kg/mm² und die Dehnung von etwa 2 vH auf 5 bis 10 vH (Zahlentafel 4). Die Befürchtung, daß durch den angenommenen Eintritt von Natrium in die Legierung der Korrosionswiderstand abnehmen würde, hat sich zum Glück als unbegründet erwiesen. Auch die Bearbeitbarkeit mit schneidenden Werkzeugen ist beim Silumin gut, wenngleich eine Schmierung beim Sägen und Bohren bei Silumin wesentlicher ist als bei den älteren Gußlegierungen. Besonders günstige Ergebnisse werden erreicht beim Kokillenguß[2]).

Zahlentafel 4. Wirkung der Kornverfeinerung auf Silumin.

Zustand	ruchgrenze kg/mm²	Dehnung vH
nicht verfeinert	11 bis 17	1 bis 3
verfeinert . . .	18 „ 25	5 „ 10

Magnesium.

Das einzige Metall, das außer Aluminium noch als Leichtmetall für konstruktive Zwecke heut eine Rolle spielen kann, ist, wie eingangs bereits erwähnt, das Magnesium. Das reine Metall kommt als solches für Konstruktionsteile nicht in Betracht. Es ist zu weich und zu wenig widerstandsfähig gegen korrodierende Einflüsse. Anderseits mußte der Umstand, daß der Rohstoff für seine Gewinnung (Magnesiumsalze) in Deutschland in fast unerschöpflichen Mengen zur Verfügung steht, zu einer Verwertung reizen. Schon vor dem Kriege begonnene und dann durch die Sparmetallwirtschaft während des Krieges noch besonders geförderte Arbeiten der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron, Frankfurt a. M., hatten auch tatsächlich den Erfolg, daß eine brauchbare Magnesiumlegierung, das Elektronmetall, hergestellt werden kann. Es sind allerdings bestimmte Vorbedingungen für die erfolgreiche Herstellung einzuhalten. Die erzeugende Fabrik hat eine Reihe patentierter Verfahren ausgearbeitet, die sich besonders auf die Reinigung des Rohmetalls von den die Haltbarkeit gefährdenden Salzeinschlüssen, auf den Schutz gegen Entzündung beim Guß usw. beziehen, auf die im einzelnen hier nicht weiter eingegangen werden kann.

Das Elektronmetall wird je nach dem Verwendungszweck verschieden legiert, als Zusätze kommen offenbar Aluminium und Zink, neben diesen auch Mangan in Betracht. Die Legierung ist gut gießbar und läßt sich auf der Strangpresse verarbeiten, wobei sie allerdings ziemlich langsam fließt. Das spezifische Gewicht beträgt 1,73 bis 1,85. Der Korrosionswiderstand ist nicht so groß wie der des Aluminiums, wenngleich befriedigende Ergebnisse auch mit Elektron erreicht wurden. Im geraden Gegensatz zu den Aluminiumlegierungen wird es von Säuren kräftig, von Alkalien dagegen kaum angegriffen.

Über die Festigkeitseigenschaften gibt Zahlentafel 5 Auskunft[3]). Die Werte des Duralumins werden zwar nicht erreicht, zu bedenken ist dabei aber, daß auch das spezifische Gewicht des Elektronmetalls nur etwa ⅔ von dem der Aluminiumlegierung beträgt. Nach neueren Mitteilungen soll es außerdem gelungen sein, besondere für Guß noch wesentlich höhere Ziffern zu erreichen, und zwar 22 kg/mm² Bruchgrenze bei 16,5 vH Dehnung. Damit würde die Güte des Silumins mindestens erreicht sein.

Zahlentafel 5. Festigkeit von Elektronmetall.

	Z 1 Legierung für Preßstangen, Gesenkteile, Bleche, Drähte		AZ Guß-Legierung	V 1 besonders harte und feste Legierung für Verwendung wie Z 1 (gepreßt).
	gepreßt	hartgewalzt		
Zerreißfestigkeit kg/mm²	26 bis 28	29 bis 32	12 bis 15	34 bis 36
Dehnung . . . . . . vH	18 „ 22	2 „ 3	2 „ 4	10 „ 12
Brinellhärte	46 „ 50	56 „ 65	44,5	69 „ 74
Kerbzähigkeit mkg/cm²	0,9 „ 1,1	—	0,48	0,55 „ 0,7
Elektrische Leitfähigkeit	16 „ 18	—	15 bis 16	—
Schwindmaß . . . . vH	—	—	1,10	—
Schmelzpunkt . . . °C	635	—	630	—
Spezifisches Gewicht . .	1,81	—	1,80	1,83

Ausblick.

Es drängt sich einem nun zweifellos, wenn man am Ende einer solchen Betrachtung angelangt ist, die Frage nach der voraussichtlichen Weiterentwicklung auf. Gewiß ist es möglich, daß einmal wieder ein solcher Sprung getan wird, wieder einmal ein solch großer Wurf gelingt, wie einst beim Duralumin. Meines Erachtens sind die Aussichten dazu aber nicht sehr groß. Man hat auch hier hingewiesen auf den Stahl, der sich von Kohlenstoffstahl entwickelte zum legierten Sonderstahl mit seinen die des ersteren weit übertreffenden Eigenschaften. Hierbei darf aber wohl nicht vergessen werden, daß im Duralumin und seinen Abkömmlingen uns hinsichtlich des Aluminiums schon die „legierten Sonderaluminiumsorten" entgegentreten! Wohl aber wird es zweifellos möglich sein, durch eine nachhaltige wissenschaftliche Durcharbeitung der noch offenen Fragen und die Indienststellung aller unserer metallurgischen Kenntnisse Schritt für Schritt vielleicht langsam, aber doch sicher immer noch weitere neue Verbesserungen herbeizuführen, in deren Summierung sich dann auch wieder große Fortschritte ergeben können. Es unterliegt keinem Zweifel, daß gerade die Gemeinschaftsarbeit, wie sie in unseren technischen Vereinen und ihren Arbeitsausschüssen, für Aluminium und seine Legierungen besonders in der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, betrieben wird, nach dieser Richtung am ehesten Hervorragendes wird leisten können. [A 377]

[1]) Zeitschrift für Metallkunde Bd. 13 (1921) S. 507; Bd. 15 (1923) S. 17, 78.
[2]) Zeitschrift für Metallkunde Bd. 15 (1923) S. 311.
[3]) Nach Zeitschrift für Metallkunde Bd. 15 (1923) S. 19.

LEICHTBAU.

Von A. Baumann, Stuttgart.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924,
Fachtagung für Luftfahrtechnik und Ingenieurwesen.

Die Hilfsmittel zur Erzielung von Leichtbauten werden besprochen. Sie umfassen die Baustoffe, die Formgebung, die Beanspruchung und die Anordnung, wobei die bleibenden und federnden Formänderungen und Massenwirkungen zu beachten sind. Die Ergebnisse, die erzielt werden können, und die Bedeutung des Leichtbaues für die Technik im allgemeinen werden angedeutet.

Wenn dem Maschinenbauer die Aufgabe gestellt wird, eine Maschine zu entwerfen, so handelt es sich für ihn in erster Linie darum, daß diese ihre jeweiligen Wirkungen in bestmöglicher Weise erfüllt, daß also die Drehbank Dreharbeiten in dem vorgeschriebenen Genauigkeitsgrad an Stücken von bestimmter Größe auszuführen ermöglicht, daß die Dampfmaschine bei gegebener Drehzahl und Dampfspannung bei entsprechendem Dampfverbrauch eine bestimmte Anzahl von Pferdestärken leistet usf.

Bei Ausführung der Einzelteile ist die Überlegung darauf gerichtet, daß jeder Teil den Kräften, die an ihm wirken, gewachsen ist, daß die Formänderungen ein zulässiges Maß nicht überschreiten und mit ihnen nicht Nebenspannungen verbunden sind (Wärmespannungen), daß der Teil den Anforderungen, die durch Verschleiß aller Art bedingt sind, sowohl was Form als auch was Abmessungen der Maschine anlangt, entspricht, daß er billig und einfach in der Herstellung und zweckmäßig in Rücksicht auf den Einbau ist. Auch muß man der Auswechselbarkeit gegebenenfalls Beachtung schenken, wie überhaupt alle persönlichen und allgemein bekannten Erfahrungen zu beachten sind. Zu den genannten Überlegungen kommen im Einzelfall noch weitere, die hier allgemein aufzuzählen zu weit führen würde

In allen diesen Fällen spielt das Baugewicht keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Man nimmt das Gewicht als eine durch die Aufgabe bedingte Größe in den Kauf; häufig macht ein sehr kleines Gewicht mehr Sorgen als ein sehr großes, weil der Käufer für sein Geld auch eine entsprechend schwere Maschine erhalten will. Besonders bei Gußstücken neigt man daher zu einer Verschwendung an Wanddicke.

Der Leichtbau unterscheidet sich von dem Ausgeführten dadurch, daß zu den genannten Überlegungen beim Entwurf sowie bei der Ausführung der Einzelteile, und alle anderen Überlegungen beherrschend, die weitere tritt, Aufbau und Einzelteile der Maschine so auszuführen, daß sie denkbar leicht werden, ohne die vorgeschriebene Wirkung der Maschine zu beeinträchtigen. Das geringe Gewicht wird oberster Gesichtspunkt. Es handelt sich nicht mehr einfach darum, wie der Einzelteil zu formen und zu bemessen ist, damit er den an ihm wirkenden Kräften gewachsen ist, sondern darum, wie man den Einzelteil formen und bemessen soll, damit er bei geringstem Gewicht den Kräften standhält. Gleiches gilt für die anderen Überlegungen. Die Aufgabe wird dadurch von Haus aus verwickelter; es entsteht eine Dualität der Überlegungen, indem zu jeder Überlegung, die das technisch Zweckmäßige verfolgt, beherrschend die zweite hinzutritt, die sich auf das Gewicht bezieht. Notwendig wird dadurch die Zahl der möglichen guten Lösungen verkleinert, gleichzeitig aber auch der Weg zum Ziel verlängert. Die Lösung wird schwieriger.

Das Ringen nach der befriedigenden Lösung steht also unter einer ganz bestimmten geistigen Einstellung, die aber nicht dazu führen darf, die übrigen technischen Anforderungen gering zu achten oder irgendeine zu übersehen; denn es wird sich zeigen, daß diese unter dem Einfluß der Forderung nach geringem Gewicht gegebenenfalls erhöhte Bedeutung erlangen.

Der Baustoff.

Soll geringes Gewicht erzielt werden, so steht die Frage nach dem zu wählenden Baustoff im Vordergrund. Einen Anhalt für die Eignung eines Baustoffs in dieser Hinsicht gibt die Reißlänge, das ist diejenige Länge, welche ein Band (Draht, Faden) des betreffenden Baustoffs erreichen kann, ehe es unter dem Einfluß seines Eigengewichtes reißt. Wie ohne weiteres einleuchtet, hängt die Reißlänge vom Verhältnis der Zugfestigkeit des Baumaterials zu seinem Einheitsgewicht ab. Man erhält so in runden Zahlen für gießbare Metalle wie Gußeisen, Bronze, Aluminium Reißlängen von 2, 4,5 und 6 km, für schmiedbare und für veredelbare Metalle wie Eisen, Stahl, Duralumin, Silumin, Elektron Reißlängen von 2, 6 bis 12, 12 bis 21,5, 23 und 22 bis 26 km, je nach der Legierung und der Art der Wärmebehandlung. Naturstoffe, wie Tannenholz und Bambus, haben Reißlängen von etwa 12 und 25 km.

Diese Zahlen beziehen sich auf die Bruchfestigkeit. In vielen, wenn auch nicht in allen Fällen wäre statt der Bruchfestigkeit die Streckgrenze, sofern sie vorhanden ist, in Vergleich zu ziehen, nämlich dann, wenn bleibende Formänderungen auch in Ausnahmefällen unzulässig oder verhängnisvoll sind. Man erhält dann etwas andere Zahlen, wobei im allgemeinen Baustoffe mit großer Dehnung gegenüber spröden in bezug auf die Reißlänge im Nachteil erscheinen. Man sieht schon daraus, daß die Reißlänge oder, nunmehr besser, Strecklänge nur ungefähr einen Anhalt für die Eignung eines Baustoffs abgeben kann.

Vor allem aber fällt auf, daß diese Zahlen nur gelten können, wenn es sich um gezogene Maschinenteile handelt. Für Biegung, Drehung oder Knickung gelten notwendig andre Verhältniszahlen. Einfache Überlegungen zeigen, daß dann nicht mehr das Verhältnis von Festigkeit zu Einheitsgewicht, sondern für Biegung und Drehung das Verhältnis der ⅔-Potenz der Festigkeit zum Einheitsgewicht maßgebend ist. Bei Knickung kommt es schließlich auf das Verhältnis der Wurzel aus dem Elastizitätsmodul zum Einheitsgewicht an. Man erhält so für Biegung und ebenso für Knickung andre Vergleichzahlen. In allen Fällen und bei Knickung ganz besonders bleiben die sogenannten Leichtmetalle, aber auch die Hölzer überlegen.

Bei Biegung und Knickung tritt aber gleichzeitig ein neues Element mitbestimmend in Erscheinung: die Querschnittform. Uns allen ist ihre Bedeutung im vorliegenden Zusammenhang bekannt, und man braucht über die Grundsätze an sich kein Wort zu verlieren. Es kommt eben darauf an, den Baustoff möglichst nach außen, in die Gegend der hohen Beanspruchungen des Querschnitts zu legen oder, anders ausgedrückt, für Biegung und Drehung solche Querschnitte zu verwenden, deren Fläche klein und deren Widerstandsmoment groß ist, bei Knickung solche Querschnitte, deren Trägheitsmoment groß ist, was nicht immer dasselbe ist. Dabei muß bekanntlich außerdem darauf geachtet werden, daß bei Biegung der Querschnitt auch die Querkräfte sicher aufnehmen kann, und daß bei Knickung und Drehung die örtliche Wölbungsfestigkeit oder Steifigkeit gewahrt bleibt. Dadurch wird im Einzelfall die Aufgabe nicht so einfach, wie sie nach dem Grundgedanken zunächst scheinen kann. Da schließlich in jedem gebogenen oder gedrehten Stabe schwach- und hochbeanspruchte Fasern aufeinander folgen, kann man auch sagen, daß man danach streben muß, den Stab oder den Maschinenteil so zu formen, daß in ihm die Zahl der hochbeanspruchter Fasern groß, die der schwachbeanspruchten so klein wie möglich ist.

Man kommt so vom gebogenen Balken mit Rechteckquerschnitt zum Doppel-T-Träger oder U-Träger, zum Kastenträger und von da, wo der Aufbau es erlaubt, zum Gitterträger, beim verdrehten Stab zur Hohlwelle mit geringer Wandstärke, beim geknickten Stab zur Hohlsäule oder im äußersten Fall gleichfalls zum Gitterstab. Schließlich ist zu beachten, daß beträchtliche Querschnittsteile eines gebogenen Stabes unter Druckbeanspruchung stehen, daß für ihre Formgebung also ähnliche Grundsätze gelten wie für geknickte Stäbe. Man wird also z. B. den gedrückten Flansch eines aus dünnem Blech gebildeten U-Trägers nicht als ebenen Streifen formen, sondern so, daß er für sich betrachtet bei gegebener Fläche ein großes Trägheitsmoment hat. Man wird ihn am Rand umbördeln oder ihn sonst geeignet formen. Ebenso kann man gegebenenfalls zur Erhöhung der örtlichen Wölbungssteifigkeit einer Hohlsäule bei sehr dünner Wandstärke mit Vorteil die Säule mit Längsrillen versehen. Es können hier nicht mehr als Andeutungen gegeben werden.

Im Sinn des Leichbaus liegt es, diese Grundsätze unbeirrt und folgerichtig durchzuführen, also auch vor Hohlbolzen, Hohlschrauben usw. nicht zurückzuschrecken. Bei Teilen, die der Rechnung weniger leicht zugänglich sind, muß man durch Versuche diejenige Form feststellen, die bei kleinstem Aufwand an Baustoff die verlangte Festigkeit verbürgt, wie es überhaupt im Wesen der Sache liegt, daß die einzelnen Bauteile weit häufiger und ausgiebiger als sonst im Maschinenbau, durch den Versuch auf ihre Widerstandsfähigkeit geprüft werden müssen.

Die Forderung nach günstigster Formgebung legt dem Erbauer in der Wahl der Baustoffe Beschränkungen auf. Das an sich so günstige Holz läßt sich zwar z. B. noch bis zu einem gewissen Grad als Doppel-T-Träger, U- oder Kastenträger verarbeiten, als reiner feingliedriger Gitterträger wird es aber unbequem. Die zahlreichen Stabverbindungen und Zusammenschlüsse können, wenn die Abmessungen nicht groß genug sind, schließlich nur durch Leimen hergestellt werden. Jede Leimstelle ist aber

ein Faktor der Unsicherheit in dem Bauwerk aus verschiedenen Gründen, die nicht erörtert werden sollen, ganz zu schweigen von der Ungleichmäßigkeit in der Festigkeit des Holzes, die um so peinlicher wird, je feiner die einzelnen Stäbchen des Bauwerks werden.

Man zieht demnach in solchen Fällen meist den Metallbau vor, wo durch Nietung oder auf andre Art zuverlässige Verbindungen zwischen Stäben mit genau bekannter Festigkeit hergestellt werden können.

Aber auch andre Wege sind denkbar und schon eingeschlagen worden. Hierher gehört die Veredelung des Holzes durch Zusammenleimen dünner Furnierlagen oder Leisten. Man erhält dadurch ein gleichmäßiges Erzeugnis, denn die Wahrscheinlichkeit, daß sich Stellen geringer Festigkeit in den einzelnen Furnieren überlagern, ist sehr gering. Leimt man die Furniere so zusammen, daß sich die Fasern kreuzen, so erhält man das Sperrholz. Man kann sagen, daß heute technische Holzbauten von geringem Gewicht und großer Festigkeit ohne Verwendung von Sperrholz undenkbar sind.

Die Verwendung des Holzes in solchen verhältnismäßig dünnen Platten kann dann zu einem zellenartigen Aufbau von Trägern, biegungsfesten Platten, Wänden usw. führen, wobei der leitende Gedanke immer wieder der ist, möglichst viel Baustoff in die Außenhaut zu legen und zwischen den Außenhäuten nur so viel Baustoff anzuordnen als nötig ist, um die Außen- und Innenhaut auseinander zu halten und die Übertragung von Querkräften, die Übertragung und Verteilung angreifender Einzelkräfte usw. zu sichern.

Solchen Aufbau für Platten und Wände findet man im Karosseriebau von Kraftwagen, auch bei Tragflächen und Biegungsträgern von Flugzeugen.

Der gleiche Aufbaugedanke läßt sich dann in Blech mit allen jenen Abänderungen verwirklichen, die sich aus der geänderten Bearbeitung und Verbindungsmöglichkeit dieses Baustoffs gegenüber dem Holz ergeben.

Ein solcher Aufbau wird verhältnismäßig unempfindlich gegen unvollkommene Verbindung einzelner Glieder mit der tragenden Außenhaut, und das um so mehr, je weiter die Teilung in einzelne Zellen geht. Er ist deshalb u. U. Gitterkonstruktionen vorzuziehen, besonders da er bei richtiger Durchbildung und unter geeigneten Verhältnissen nicht schwerer als dieser zu werden braucht.

Bei weiterer Verfolgung dieses Gedankens kommt man dann dazu, für Gußteile die Herstellung blasigen Gusses mit dichten Außenflächen zu fordern. Bei Verwirklichung dieses Problems, die zunächst denkbar erscheint, könnte man bei Gußstücken, z. B. Kurbelgehäusen für Motoren, Getriebekasten für Kraftwagen usw., ohne Festigkeitseinbuße große Gewichtsersparnisse erzielen. Aus allem, was hier zum Teil nur andeutungsweise gesagt ist, geht hervor, daß einmal die mechanischen Eigenschaften der Baustoffe, zum andern der Grad ihrer Bearbeitkeit und Formbarkeit für ihre Eignung entscheidend sind.

Dieses Zweierlei tritt bei der reinen Zugbeanspruchung am wenigsten in die Erscheinung, bei Knickung und Biegung ist es dagegen grundlegend. Sieht man nämlich von der Formbarkeit und damit der Form des Querschnitts ab, so zeigt ein Vergleich zwischen Holz und Leichtmetall, z. B. im Fall der reinen Knickung, daß Holzstäbe bei halbem Gewicht des Stabes dieselben Knicklasten wie Leichtmetallstäbe tragen können. Geht man aber auf die Form des Querschnitts ein, so sieht man sofort, daß man aus Holz kein Rohr von so geringer Wandstärke wie aus Metall formen kann; infolge der Formbarkeit kann somit auch hier das Leichtmetall erfolgreich mit dem Holz in Wettbewerb treten, ja ihm überlegen werden.

Diese Umstände wirken mit andern dahin zusammen, daß das Holz auch im Leichtbau mehr und mehr entbehrlich wird, und das Leichtmetall an seine Stelle tritt. Begünstigt wird das Streben, vom Holz zum Metall überzugehen, durch andre unerwünschte Eigenschaften des Holzes, seine Neigung zum Schwinden, Verziehen, Werfen, Faulen und all die Übelstände, die mit dem Leimen verbunden sind. Je mehr man alle Fasern eines Bauteils unter gleichmäßig hohe Beanspruchung setzen kann, um so mehr muß man darauf achten, daß keine Schwächungen durch Bohrungen oder sonstige Querschnittverminderungen den Kräftefluß stören und beengen; wo solche Schwächungen unvermeidlich sind, muß ein Ausgleich durch Verstärkungen an anderer Stelle des Querschnitts geschaffen werden. Dabei sollen aber die Übergänge nicht willkürlich sein, sondern einem geordneten Kräftefluß entsprechen. Ähnliches gilt für den Fall, daß große Einzelkräfte an der Außenhaut, Außengurtung usw. eines solchen Bauteils mit aufgelockertem Querschnitt angreifen. Es wäre falsch, diese große Kraft nur an der an sich gegen örtliche Beanspruchungen zu schwachen Außenhaut angreifen zu lassen. Der Anschluß muß vielmehr bis ins innere Gefüge des Körpers vordringen, oder man muß den Kraftangriff über genügend große Teile der Außenhaut verteilen.

Bezieht sich das Gesagte auf die Formgebung der Einzelteile, so geht der Leichtbau an sich noch weiter; er fordert nicht nur in den Einzelteilen geringe Zahl der schwach- bzw. nicht beanspruchten Fasern, sondern er fordert das gleiche auch für das ganze Bauwerk. Letzten Endes sollte möglichst an dem ganzen Bauwerk keine unbeanspruchte oder schwachbeanspruchte Materialfaser vorkommen. Das heißt also, daß alle Teile, die überhaupt am Bauwerk sonst nötig sind, soweit irgend möglich zum Tragen mit herangezogen werden. Man soll also z. B. nicht auf ein Traggerüst eine Schutzhülle für zu befördernde Gegenstände (eine Karrosserie) aufsetzen, sondern diese mechanisch so in das Traggerüst einfügen, daß ihr Baustoff bei entsprechender Formung gleichzeitig das Traggerüst darstellt. Ein Sitz mit Lehne soll, wenn nicht besondere Gründe dagegen sprechen, nicht unvermittelt in diese Schutzhülle hineingestellt, sondern gleichzeitig als Quer- oder Senkrechtverstrebung der Schutz- und Tragwände ausgebildet werden.

Als Endziel erscheint also ein Bauwerk, bei dem jede Faser des verwendeten Baustoffes unter der für ihn zulässigen Beanspruchung steht. Das ist aber ein Ideal, dessen Verwirklichung nur mehr oder weniger unvollkommen erreicht werden kann.

Zulässige Beanspruchung.

Was hat man nun, so lautet die nächste Frage, als „zulässige Beanspruchung" anzusehen? Im allgemeinen Maschinenbau würde man je nach dem Fall ruhender, schwellender oder wechselnder Belastung als zulässige Beanspruchung etwa den 4., 6. und 12. Teil der Bruchfestigkeit annehmen. Mit so großen Sicherheiten und so unverrückbaren Zahlen darf der Leichtbau nicht rechnen, wenn er sein Ziel erreichen will. Es ist aber schwer, ohne weit auszuholen, hierüber allgemein Gültiges zu sagen. Bis zu welchen Grenzen man unter dem Druck der Verhältnisse geht und, wie die Erfahrung gezeigt hat, gehen kann, möge folgendes Beispiel zeigen:

Die Tragflächen eines Flugzeugs haben nicht nur das Gewicht des Flugzeugs zu tragen, sondern auch, wenn ein Flugzeug vom Abwärtsflug in den Wagerechtflug übergeht, die Verzögerungskräfte aufzunehmen, die sich dabei einstellen, oder die Fliehkräfte beim Durchlaufen der durchflogenen, mehr oder weniger stark gekrümmten Bahnkurve. Die Berechnung dieser Kräfte ist wegen der Unsicherheit einzelner Faktoren und der Verwickeltheit des Vorgangs zum mindesten unsicher und mühsam. Durch Einbau von Beschleunigungsmessern hat man festgestellt, daß bei den während des Krieges üblichen Flugzeugen in solchen Fällen mit der 2,5- bis mehr als 3fachen Normalbelastung zu rechnen war. Für diese Flugzeuge war Bauvorschrift, daß ihre Tragflächen bei einer Belastung der Flügel, die dem Abfangen eines Flugzeugs entspricht, eine Bruchfestigkeit haben sollten, die dem 5fachen Gewicht des belasteten Flugzeugs entsprach. Die absolute Sicherheit gegen Bruch beim Abfangen aus dem Sturzflug war also knapp 2 und weniger. Dabei ist zu beachten, daß es sich damals fast durchweg um Holzbauten handelte, bei denen man von Haus aus damit rechnen muß, daß selbst bei sorgfältiger Auswahl der Baustoffe nicht immer die volle Festigkeit des Holzes, die in die Festigkeitsrechnung eingeführt war, auch tatsächlich vorhanden ist.

Für andre Belastungsfälle gewisser Flugzeugarten, wo nicht mit wesentlichen Massenkräfte zu rechnen war, ging man bis auf zweifache Sicherheit, bezogen auf das Gesamtgewicht.

Beim Fahrgestell eines Flugzeugs soll die Bruchfestigkeit dem sechsfachen Gewicht entsprechen. In der Regel ist seine Abfederung so bemessen, daß die voll belastete Feder das Dreifache der ruhenden Last aufnimmt, ehe sie durch Anschläge gegen weitere Belastung geschützt wird. Diese Anschläge kommen oft bei harter Landung zur Wirkung. Dabei wird das Fahrgestell immer über seine halbe Bruchlast hinaus beansprucht. Man kann also sagen, daß man sich im Flugzeugbau selbst bei sehr lebenswichtigen Teilen unter Berücksichtigung aller wirkenden Kräfte einschließlich der Massenkräfte mit einer zweifachen Sicherheit gegen Bruch begnügt, und daß diese Sicherheit erfahrungsgemäß ausreicht.

Ganz entsprechend liegen die Verhältnisse im Luftschiffbau, wo die Sicherheiten bei Berücksichtigung der ungünstigsten Belastungsfälle ähnlich klein sind.

Dabei ist zu beachten, daß man in jedem der angeführten Fälle nicht mit ruhenden Belastungen, sondern zum mindesten mit schwellenden rechnet, meist aber mit einem Belastungsfall, der zwischen schwellender und wechselnder Belastung liegt, wo also der allgemeine Maschinenbau mit einer Sicherheit zwischen 6

und 12 rechnen würde. Es steht also 6- bis 12fache der zweifachen Sicherheit gegenüber.

Die Flugzeuge, für die diese Festigkeitsgrundsätze aufgestellt wurden, waren die im Krieg üblichen Kampfflugzeuge mit Geschwindigkeiten von etwa 180 km/h und fast ohne Ausnahme aus Holz gebaut. Bei einer Änderung dieser Voraussetzungen müßten auch die Sicherheiten neu festgestellt werden.

Man kann im Zweifel sein, ob man diese Sicherheitszahlen ohne weiteres auf Metallflugzeuge übertragen darf. Der Unterschied liegt darin, daß das Holz keine Streckgrenze hat, also dabei nicht mit großen bleibenden Dehnungen zu rechnen ist. Bei Metall können die Verhältnisse in dieser Hinsicht anders liegen. Es kann dann, wenn man die zweifache Sicherheit auf die Bruchfestigkeit bezieht, die Streckgrenze bedenklich nahe an die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen herankommen, so daß bleibende und unter Umständen verhängnisvolle Formänderungen eintreten.

Solche Formänderungen waren und sind jederzeit am Fahrgestell von Flugzeugen feststellbar, die fast immer aus Metall hergestellt werden. Dort sind bleibende Formänderungen zunächst nicht bedenklich, wenn sie sich nicht an demselben Fahrgestell und an derselben Stelle dauernd wiederholen. An Metalltragflächen sind sie aber zum mindesten wesentlich peinlicher. Auf der andern Seite ist das Metall ein gleichmäßigerer Baustoff, so daß man versucht sein könnte, sich mit geringeren Sicherheiten als beim Holzbau zu begnügen, oder zum mindesten in diesem Umstand einen Ausgleich gegenüber der Neigung zu bleibenden Formänderungen zu erblicken.

Jedenfalls ist die Gleichmäßigkeit des Baustoffs ein wesentlicher Anreiz für die ausschließliche Verwendung von Metall im Flugzeugbau, und letzten Endes könnte man zugunsten des Holzes nur noch seine leichte Bearbeitbarkeit und seinen geringen Preis anführen, Umstände, die trotz Abfall und Verschnitt bewirken, daß ein Holzflugzeug wesentlich billiger und rascher als ein Metallflugzeug gebaut werden kann. Aber dieser Vorteil wird bei Massenherstellung und entsprechend durchgebildeten Fabrikationsverfahren wohl fast verschwinden. Die oft gerühmte größere Lebensdauer der Metallflugzeuge kann sich dagegen nur dann auswirken, wenn keine allzu häufigen gewaltsamen Zerstörungen den natürlichen Alterungsprozeß abbrechen.

Trotzdem könnte die ausschließliche Bevorzugung des Metallflugzeugbaues und die Aufgabe der Methoden des Holzbaues auch bedenklich sein, wenn man an militärische Erfordernisse denkt, wo man in kurzer Zeit große Mengen erzeugen muß und wo die gewaltsame Zerstörung der Flugzeuge die Regel ist, wo es gilt, schnell Fabriken einzurichten usw.

Die bleibenden Formänderungen, von denen zuvor die Rede war, sind eine Folge der bleibenden Dehnungen des Baustoffs infolge großer, über das zulässige, der Rechnung zugrunde gelegte Maß hinausgehender Anstrengung. Sie hängen ebenso vom Baustoff und seinen Dehnungseigenschaften wie davon ab, wie weit die im Verhältnis zur Bruchfestigkeit als zulässig erachtete Beanspruchung überschritten wurde. Im Zusammenhang mit den genannten geringen Sicherheiten entsteht so eine Anzahl von Fragen, über deren Beantwortung man sich bis heute nicht einig ist. Diese Fragen lassen sich wie folgt fassen:

Wenn man mit ausgesprochen geringen Sicherheiten rechnet, ist es dann bei den an sich in der Nähe der Bruchgrenze so verschiedenen Eigenschaften der Baustoffe noch angezeigt, von der Bruchfestigkeit auszugehen?

Ist es zweckmäßig, statt dessen von einer deutlich erkennbaren oder auf Grund einer Übereinkunft nach Maß der bleibenden Dehnungen festgelegten Streck- oder Elastizitätsgrenze auszugehen und auf sie die Sicherheit zu beziehen?

Da allen Festigkeitsrechnungen die Annahme zugrunde liegt, daß zwischen Dehnung und Spannung Proportionalität besteht, also diese Rechnungen streng genommen nur innerhalb eines solchen Bereichs gelten, darüber hinaus aber sich jedenfalls andre Beanspruchungen und Spannungsverteilungen einstellen, sollte da nicht die Proportionalitätsgrenze des betreffenden Baustoffes als Bezugsgröße für die Sicherheit eingeführt werden?

Der Beantwortung aller dieser Fragen wird man freilich enthoben, wenn man von der Bruchfestigkeit der fertigen Maschine oder des fertiggestellten Bauteiles ausgeht und eine Bruchprobe vorschreibt, die z. B. das Doppelte der zu erwartenden größten Belastung oder ein Vielfaches der ruhenden Belastung ist. Damit aber würde man auf jede Rechnungsgrundlage verzichten und alles auf den Versuch und die Erfahrung des Konstrukteurs abstellen, ein Zustand, der nicht erwünscht ist und die wissenschaftliche Durchdringung ausschließt.

Es erhebt sich die weitere Frage, welche Bedeutung hat im Bereich des Leichtbaues, abgesehen von der Möglichkeit der Formung im kalten Zustand, durch Biegen, Strecken, Treiben, die Dehnung oder die Zähigkeit eines Baustoffes? Durch sie wird in der Hauptsache eine weitere Sicherheit eingeführt, wenn sie sich auswirken kann. Das ist aber nur der Fall, wenn Beanspruchungen vorübergehend und in der Regel unerwartet auftreten, die das in Rechnung gesetzte Maß weit überschreiten, so daß infolge der Arbeitsaufnahmefähigkeit des Baustoffes ein Sicherheitsventil geöffnet und überschüssige Kraftwirkung verschluckt wird. Ist die Rechnung aber so durchgeführt oder liegen die Umstände derart, daß solche Überbeanspruchungen ausgeschlossen sind, so nutzt diese zusätzliche Sicherheit nichts, weil die Arbeitsaufnahmefähigkeit des Baustoffes gar nicht in die Erscheinung treten kann.

Es kommt hinzu, daß sich solche starken bleibenden Dehnungen kaum jemals über alle Teile des Bauwerks erstrecken, daß also in dem Augenblick, wo sie auftreten, Verzerrungen auftreten, die die Form des Bauwerks ändern. Das kann aber auch schlimme Folgen haben, wenn sich z. B. infolgedessen der eine Flügel eines Flugzeugs gegenüber dem andern verdreht.

In diesem Zusammenhang ist also, streng genommen, das Auftreten größerer bleibender Formänderungen, wobei die Zähigkeit des Baustoffes ausgenutzt wird, stets nur ein Zeichen und eine Mahnung, diese Teile zu verstärken. Nun ist nicht immer leicht festzustellen, an welcher Stelle diese unzulässige Dehnung eintritt, was nötig wäre, um Verstärkungen vorzunehmen oder um unzulässiges Verziehen des ganzen Bauwerks wieder zu beseitigen. Bestreicht man alle Teile mit einem spröden Lack, so macht er durch Abblättern diese Stellen sichtbar. Das setzt voraus, daß alle Bauglieder für die Einsichtnahme und Überwachung zugänglich sind, worauf man auch außerhalb dieses engeren Zusammenhanges bei jedem hochbeanspruchten Bauwerk Rücksicht nehmen sollte.

In den meisten Fällen darf man solche Überbeanspruchungen unterschätzten oder nicht erwarteten Massenkräften oder ihren weiteren Wirkungen (Erzitterungen) zuschreiben. Statt daß man sie im Arbeitsvermögen irgendeines Bauteils sich auswirken läßt, ist es zweckmäßiger, sie durch Federungen aufzunehmen oder andre kraftverzehrende Sicherheitsteile einzubauen. Auch die Einschaltung von Bruchgliedern gehört hierher, die z. B. die Gondelaufhängung von Luftschiffen aufweist.

Auch noch andre Rücksichten, als die auf die Bruchfestigkeit, muß man nehmen, wenn man den Sicherheitsgrad so niedrig wie in den behandelten Fällen wählt. Daraus geht aber weiter hervor, daß man mit geringen Sicherheiten nur rechnen darf, wenn man wirklich die größten Kräfte kennt, die an dem Bauwerk auftreten. Man darf sich nicht mit der Kenntnis der ruhenden Lasten begnügen, sondern muß alle möglichen Massenwirkungen verfolgen, um die für jeden Querschnitt und Bauteil ungünstigsten Verhältnisse zu ermitteln.

Wo solche Massenkräfte wirken, ist auch die Arbeit wichtig, die verschiedene Baustoffe durch federnde Formänderung aufnehmen können. Dabei sind zunächst Baustoffe mit kleinem Elastizitätsmodul im Vorteil; da es aber auch auf den Rauminhalt des Baustoffes und auf die Beanspruchung, die ihm ohne Bruch zugemutet werden kann, ankommt, so läßt sich nicht ohne weiteres überblicken, wo der Vorteil liegt. Eine Nachrechnung zeigt, daß auch hier die Leichtmetalle mit Hölzern in Wettbewerb treten können.

Wird nach solchen Grundsätzen ein Bauwerk entworfen und berechnet, so ist es im Betrieb in allen Teilen bis verhältnismäßig nahe an seine Bruchfestigkeit beansprucht und wird entsprechend den hohen Beanspruchungen große federnde Formänderungen erfahren müssen.

Auf die Formänderung muß man deshalb im Leichtbau noch mehr als sonst im Maschinenbau Rücksicht nehmen, um Klemmungen beweglicher Teile zu vermeiden und durch die Formänderung mögliche zusätzliche Nebenbeanspruchungen zu verhüten. Wo sie unvermeidlich sind, muß man sie rechnerisch verfolgen.

Wo es angeht, muß man mit Rücksicht auf die zu erwartenden Formänderungen bewegliche, aufeinander wirkende Teile möglichst nahe zusammenlegen, da die Größe der Formänderung, der Durchbiegung oder Verdrehung von der Längenausdehnung abhängt, also um so störender wirken muß, je weiter zwei kinematisch miteinander verbundene Teile voneinander abstehen.

Sind also Motor und Getriebeanlage in einem Bauwerk des Leichtbaues vorhanden, so soll man sie möglichst in einem Block oder sonst auf engem Raum vereinigen; wo das nicht möglich ist, oder nicht im Sinn der ganzen Anordnung liegt, muß man die

Bewegungsübertragung so gestalten, daß sie gegen Lagenänderung der einzelnen Teile nach der zu erwartenden Richtung der Lagenänderung unempfindlich ist. Solche Übertragungsmöglichkeiten sind Riementriebe, Kettentriebe, Zahnradübertragung oder Gelenkwellen. Lagenänderungen ergeben dann entweder immer periodisch veränderliche Drehgeschwindigkeiten, oder nur dann, wenn die Lagenänderung der Teile periodisch schwankt. Dadurch wird das Triebwerk entsprechend dem Wechsel der Drehgeschwindigkeit durch periodische Massenkräfte beansprucht, denen man entgegenwirken muß.

Diese und andre bei einem Kraftantrieb oder einer Kraftanlage unvermeidlichen Massenkräfte wirken aber auch auf den Unterbau der Maschinenteile zurück. Auch er wird notwendig leicht und dabei hoch beansprucht und kann deshalb von sich aus nur geringe Gegenwirkungen äußern, es treten dann Erzitterungen ein, die sich gegebenenfalls weithin durch das ganze Bauwerk fortsetzen. Diese Zusammenhänge müssen sorgfältig verfolgt werden. Einmal muß man streben, den Massenkräften entsprechend große Massen gegenüberzustellen, indem man durch geeignete Verbindungsglieder im ganzen Bauwerk möglichst große oder ausreichende Massen des Bauwerks als Gegenmassen für die Massenkräfte heranzieht, zum andern kann man Verbindungsglieder vermeiden, ausschalten oder entfernen, die Erzitterungen auf entfernte Teile des Bauwerks übertragen können, ohne daß die Massen dieser Bauwerkteile nach ihrem Zusammenhang mit dem Ganzen als Gegenmassen wirken.

Handelt es sich um einen Stabwerkbau, um eine Gitterkonstruktion, so können solche Erzitterungen durch periodische Massenkräfte besonders unangenehm und gefährlich werden, wenn einzelne Stäbe in Resonanz kommen und quer zu ihrer Längsrichtung schwingen. Das kann in der Regel nur dann eintreten, wenn durch die Ausbildung der Stabanschlußstellen, der Knotenpunkte, in den einzelnen Stäben, die in einem Gitterstabwerk nur Druck oder Zugkräfte übertragen sollten, zusätzliche Biegungsanstrengungen auftreten, die meist von Formänderungen des Stabwerks unter dem Einfluß der Belastung herrühren. Abhilfe ist dann dadurch gegeben, daß man einen solchen schwingenden Stab allseits gelenkig anschließt, so daß er nur noch Zug und Druck aufnimmt.

Wo Arbeiten zu übertragen sind, bevorzugt der Leichtbau im allgemeinen große Wege bei kleinen Kräften, um zu kleinen Abmessungen und geringen Gewichten zu gelangen. Der Steuerantrieb eines Flugzeugs bedingt z. B. einen Steuerweg und eine Steuerkraft. Um die Bewegung auf die Steuerruder zu übertragen, kann man vom Steuersitz einen Steuerzug nach hinten führen, der einerseits am Steuerknüppel, anderseits am Hebel des Steuerruders angreift. Macht man den Hebel kurz, so werden die Kräfte im Steuerzug groß und umgekehrt. Diese große Kraft im Steuerzug beansprucht nicht nur diesen selbst, sondern wirkt auch auf die Steuerlager und ihre Befestigungen, ja auf den ganzen Bauteil, der zwischen beiden Lagern liegt, zurück.

Erfolge des Leichtbaues.

Überblickt man die aufgeführten Grundsätze des Leichtbaues, so kann man feststellen, daß sie an sich nicht neu sind, wenn auch ihre Anwendung und Verfolgung zu neuen Problemen führen kann und fortwährend führt. Der schließliche Erfolg ist nur durch folgerichtige Anwendung dieser Grundsätze erreichbar.

Es ist schwer, diesen Erfolg zahlenmäßig auszudrücken; einen Anhaltspunkt mögen folgende Zahlen geben. Als Maxim Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts ein Flugzeug zu bauen versuchte, wog dieses 3600 kg und sollte vier Personen, d. h. rd. 300 kg Nutzlast, tragen; von den 3600 kg entfielen rd. 1000 kg auf den Dampfmotor von rd. 360 PS. Einschließlich des Motors betrug also das Flugzeuggewicht ungefähr das Zwölffache der Nutzlast, und der Motor wog etwa 3,5 kg/PS einschließlich Wasser für Kessel und Kondensator. Heute beträgt das Verhältnis von Nutzlast zu Flugzeuggewicht 1 : 2 bis 1 : 1, das Gewicht des Motors schon erheblich unter 1 kg/PS. Dabei war der Dampfmotor von Maxim in seiner Art ein Meisterwerk, wenn man bedenkt, daß die Motoren, die Graf Zeppelin im Jahre 1900 verwendete, rd. 30 kg/PS wogen.

Nachteile des Leichtbaues.

Man wird einwenden, daß der Vorteil des geringen Gewichts teuer erkauft sei, denn nach allem werde das geringe Gewicht erzielt durch

1. Verwendung teuerer Baustoffe,
2. durch Vermehrung des Arbeitsaufwandes bei Herstellung des Bauwerks.

Dieser Einwand ist aber doch nur teilweise berechtigt. Wenn man einen Baustoff verwendet, der die doppelte Festigkeit hat, so darf zunächst einmal sein Kilopreis doppelt so hoch sein, denn man braucht von diesem Baustoff auch nur halb so viel Querschnittsfläche; hat er anderseits die gleiche Festigkeit aber nur ¼ des Einheitsgewichtes des Vergleichsbaustoffs, so darf er auch den vierfachen Kilopreis haben, ohne daß sich das Ganze verteuert. Es kommt eben in letzter Linie auf den Preis auf 1 kg/cm² der zulässigen Beanspruchung an. Nimmt man hinzu, daß es ein Leichtbau sozusagen mit den zulässigen Beanspruchungen genauer nimmt, daß man an allen Stellen bestrebt ist, Baustoff zu sparen, so wird der Preisunterschied in dieser Hinsicht nicht mehr so groß.

Was den Arbeitsaufwand anlangt, der notwendig mit Verfeinerung der Formgebung wächst, so ist es Aufgabe der Fertigung, hier ausgleichend zu wirken und durch Einteilung und Unterteilung der Arbeitsvorgänge den Unterschied auszugleichen. Das setzt allerdings Massenherstellung voraus, hier begegnen sich aber auch die Arbeiten des Konstrukteurs und des Betriebsleiters.

Der Konstrukteur muß schon beim Entwurf darauf achten, daß das Bauwerk aus möglichst vielen gleichen Teilen besteht, so daß man schon die Einzelteile in Massen herstellen kann. Ferner sollen sich die Einzelteile auch ihrer Form nach für maschinelle Herstellung eignen.

Als Beispiel sei an die Luftschiffgerüste erinnert, die, so verwirrend ihr Aufbau erscheint, aus einer verhältnismäßig geringen Zahl von Gitterträgersorten bestehen; diese lassen sich ebenso in Massen erzeugen, wie die einzelnen Füllstabkreuze, die wieder aus wenigen in Massen herstellbaren Sorten bestehen.

Noch eines spricht in diesem Zusammenhang zugunsten des Leichtbaues. Je leichter das Bauwerk und seine Teile, um so leichter und billiger wird auch der Transport innerhalb der Werkstatt, es sinkt also der Anteil der unproduktiven Löhne und Unkosten.

Anwendungsgebiet des Leichtbaues.

Trotz allem muß man zugeben, daß der Leichtbau, abgesehen von einigen Ausnahmen, eine Verteuerung bedeutet. Man kann ihn also nicht unter allen Umständen anstreben. Es fragt sich, wo ist er trotzdem am Platz oder wo wirkt die Anwendung seiner Grundsätze fortschrittlich?

Zunächst überall da, wo sich das Gewicht in den laufenden Unkosten auswirkt, also bei allen Beförderungsmitteln, sei es in senkrechter oder in wagerechter Richtung. Hier soll das Nutzgewicht groß und das Gewicht des Betriebsmittels klein sein. Darüber hinaus soll im Interesse der Betriebsicherheit der Arbeitsaufwand für die Bedienung und Lenkung der Beförderungsmittel gering sein. Das Gesagte gilt für Eisenbahn, Straßenbahn, Verladebühne, Schiebebühne, Laufkran usw.

Ich greife nur die Straßenbahn heraus: Es gibt nichts technisch Rückständigeres und Unvollkommeneres, für den Leichtmaschinenbauer Unbegreiflicheres, als einen neuzeitlichen Straßenbahnwagen, der mit Getöse auf vorbereitetem (!) Weg durch die Straßen rumpelt, sich kreischend durch die Kurven zwängt und die armselige Last von einem oder zwei Dutzend Menschen mit zwei Mann Fahrpersonal bei einem Eigengewicht von 8 bis 12 t bergauf, bergab ans Ziel befördert. An der Front steht der Führer und arbeitet wie ein Schwerarbeiter, um seinen Wagen über die Schienen zu steuern. Er bearbeitet eine Glocke, die allein einige Kilogramm wiegt, mit einem Pfundgewicht als Klöppel, und er bremst unter Einsatz seines ganzen Körpers.

Kein Zweifel, wenn ein Zwang da wäre, hätte man schon weit Vollkommeneres und viel Leichteres geschaffen. Es ist bekannt, welchen beträchtlichen Teil des Stromverbrauches bei der Straßenbahn die Beschleunigungsarbeit beim Anfahren bedingt, besonders wenn die Haltestellen nur durchschnittlich 250 m auseinander liegen. Ein geringes Gewicht und die Anwendung der Grundsätze des Leichtbaues hätten nicht nur in dieser Hinsicht Ersparnisse im Gefolge, sondern auch alle andern angedeuteten Übelstände würden gemildert werden; sie wären sogar, wenn man sich mit Tatkraft hinter die Aufgabe stellte und grundsätzlich änderte, statt bestenfalls zu doktern, vermeidbar.

Schon im Hinblick auf die Stromersparnis würden sich Mehrkosten für den Wagen lohnen. Daß ähnliche Verhältnisse bei den andern angeführten Beförderungsmitteln vorliegen, bedarf keiner Ausführung.

Aber nicht nur für Beförderungsmittel ist der Leichtbau von Bedeutung, er ist es in gleicher Weise für die zu befördernden Gegenstände, solche für Ausfuhr oder Versand über weite Strecken, bei denen die Frachtkosten beträchtlich sind, und solche, bei denen die Erleichterung des Aufbaues trotz der höheren Herstellkosten eine Ersparnis bringen kann. Ferner alle Gegenstände, die häufig, wenn auch nicht dauernd, wie Beförderungsmittel, versetzt, verschoben oder an- und abgebaut werden, be-

sonders wenn dies behelfsmäßig erfolgt, also Gerüste und Verschalungen bei Bau- oder sonstigen Arbeiten, aber auch fertige Gegenstände, wie Feuerwehrleitern.

Es gehören hierher Reitstöcke und Planscheiben an Drehbänken, die der Dreher erst mit einem Helfer auf- oder absetzen kann, Supporte, Spanntische, Spannköpfe, die verschoben und verstellt werden müssen, die Bedienungseinrichtungen vieler Maschinen, die so massig ausgeführt werden, daß ihre Bewegung schon wegen der Massenbeschleunigung unnötige Anstrengung erfordert. Schließlich gehören alle Werkzeuge bis herunter zum einfachen Spaten hierher. Ist es verständlich, daß heute noch wie schon vor tausend Jahren der Spaten mindestens doppelt so schwer ist, als das von Haus aus bei unseren heutigen Hilfsmitteln nötig wäre? Daß dieses unnötig schwere Werkzeug stundenlang im Arbeitsrhythmus gehoben und wieder gesenkt und dabei eine Unsumme menschlicher Energie zwecklos verschwendet wird? Das Gesagte ließe sich sinngemäß auf eine große Anzahl anderer Werkzeuge übertragen und ergibt sicher in der Endsumme trotz größerer Anschaffungskosten einen Gewinn, wenn er auch oft nicht zahlenmäßig festzustellen ist.

Bei dem Beispiel des Straßenbahnwagens war auf die Massenbeschleunigung hingewiesen, die arbeitverzehrend wirkt und durch eine geringe Masse weniger verlustreich gemacht werden kann. Sinngemäß gilt das für alle Stellen, wo Massen beschleunigt und verzögert werden müssen, z. B. für Tische von Hobelmaschinen, für Stoßmaschinen, Sägegatter, für die hin und her gehenden Massen von Kolbenmaschinen und sonstige Getriebeteile. Eine Verringerung dieser Massenkräfte bedeutet aber nicht nur eine Arbeitsersparnis, sondern daß man die Fundamente leichter und damit billiger ausführen kann, daß solche Maschinen gegebenenfalls geringere Erschütterungen in der Nachbarschaft hervorrufen.

Die Grundsätze des Leichtmaschinenbaues, verständnisvoll übertragen auf andre Gebiete, für die der Leichtbau an sich keine conditio sine qua non ist, können doch Fortschritte herbeiführen, die beachtenswert sind. Es wäre zu wünschen, daß die Einstellung des Ingenieurs wenigstens insoweit sich der des Leichtmaschinenbauers nähert, daß er ständig beim Entwurf die Frage mit erwägt, welche bisher kaum beachteten Vorteile geringeres Gewicht für seine Aufgabe im Gefolge hat. [A 378]

DIE FRAGE DES BAUSTOFFES IM LEICHTBAU.

Von Prof. P. Meyer, Delft.

Begriff und Anwendungsgebiet des Leichtbaues. — Von den dem Leichtbau dienenden Mitteln wird die Brauchbarkeit von Baustoffen von verschiedenem Raumgewicht und verschiedener Festigkeit untersucht und ihre Abhängigkeit vom Belastungsfall dargestellt.

Der Begriff Leichtbau ist nicht scharf zu bestimmen. Leichtbau dürfte vorliegen, wenn nicht allein Sparsamkeit im Verbrauch an Baustoff, sondern auch noch weitergehende Gesichtspunkte zur Verminderung des Gewichtes beigetragen haben.

Leichtbau höheren Grades beginnt etwa mit dem bewußten, teilweisen Opfern von guten Eigenschaften, wie Billigkeit, Lebensdauer und Betriebsicherheit, zur Erzielung geringen Gewichtes. Leichtbau erzielt man durch geringes Gewicht der Bauteile, die gegebene Kräfte aufnehmen müssen, oder bei Maschinen dadurch, daß man in dem Produkt Kraft mal Geschwindigkeit die Geschwindigkeit erhöht und die Kraft verringert.

Leichtbau ist nicht unter allen Umständen nützlich; es empfiehlt sich nicht, ihn überall in der Technik anwenden zu wollen. Bei ruhenden Bauteilen hat Leichtbau wenig Sinn. Nur wo Bewegung herrscht und Leichtbau den Arbeitsaufwand vermindert, ist er am Platz, Leichtbau höheren Grades jedoch nur dann, wenn ihn die Erreichung eines bestimmten Zieles gebieterisch fordert.

Die Erfahrung muß das unvermeidliche Kompromiß zwischen Gewichtersparnis und andern guten Eigenschaften regeln.

Fahrzeuge und andre Transportmittel könnte man nach dem Gesichtspunkt zunehmender Bedeutung des Leichtbaues etwa folgendermaßen ordnen: Eisenbahnfahrzeuge, Lastwagen, Frachtschiffe, Krane, Fahrgastschiffe, Motorlastwagen, bespannte Personenwagen, Sport-, Segel- und Motorboote, Personenkraftwagen, Fahrräder, Rennboote, Luftschiffe, Flugzeuge.

Der Leichtbau bringt in dieser Reihe zunehmend Vorteile und steigert sich schließlich zu einer unerläßlichen Vorbedingung; denn ein schweres Fahrrad ist bei der beschränkten Betriebskraft und bei der häufig notwendigen Handhabung praktisch unbrauchbar, während Flugzeuge und Luftschiffe ihren Zweck überhaupt nicht erfüllen können, wenn sie nicht Leichtbauten höchsten Grades sind. Sie sind verhältnismäßig alte Erfindungen, sind aber erst mit der technischen Verwirklichung des Leichtbaues ausführbar geworden.

Da jeder Bauteil eigentlich dazu dient, äußere Kräfte als Materialspannungen aufzunehmen und zu übertragen, so müßte man zum Zweck der Gewichtersparnis jedes Teilchen bis zum äußersten, d. h. mit der höchsten zulässigen Spannung, ausnutzen und auch noch die Baustoffe nach ihrem Raumgewicht und der für sie zulässigen Spannung unterscheiden. Man könnte von einer „Gewichtsfestigkeit" sprechen und diese durch das Verhältnis der zulässigen Zugspannung zum Raumgewicht, also $k:\gamma$, ausdrücken.

Erstes Mittel, das zum Leichtbau führt, ist das Vermeiden von überflüssigem Material, was allerdings häufig die Formgebung erschwert und deshalb bei gewöhnlicher Bauweise nur so weit angewandt wird, als es die Herstellungskosten nicht unwirtschaftlich macht. Bei gewöhnlicher Bauweise gibt man z. B. meist dem prismatischen Balken den Vorzug vor dem leichteren Träger mit gleicher Festigkeit in allen Querschnitten. Für gewöhnlich vermeidet man ausgebohrte Wellen, die zwar leichter, aber keineswegs billiger sind.

Ein zweites Mittel im Leichtbau ist das Bestreben, Baustoffe von hoher Festigkeit und kleinem Raumgewicht zu benutzen. Man könnte meinen, daß die bereits erwähnte Gewichtsfestigkeit den schärfsten Prüfstein der Eignung eines Baustoffes für den Leichtbau bildet. Dem ist aber nicht ganz so, vor allem weil es niemals gelingt, die Form so zu gestalten, daß in allen Teilen die höchsten zulässigen Spannungen auftreten und weil,

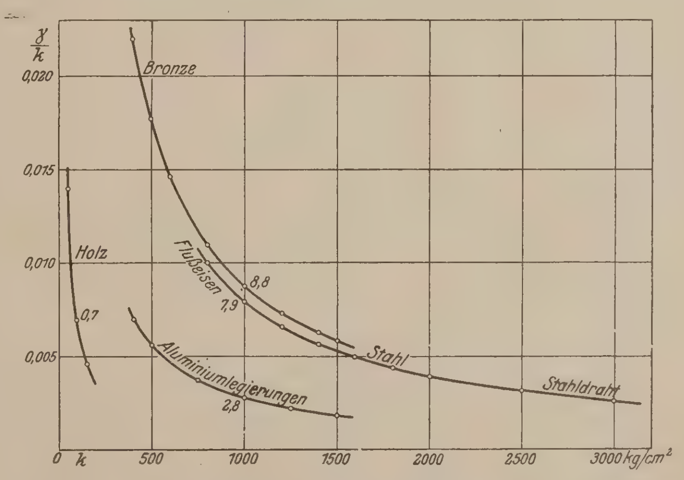


Abb. 1. Gewichtverhältnis $\frac{\gamma}{k}$ für Zug und Druck sowie für Biegung bei gegebener Querschnitthöhe.

wie sich im folgenden zeigen wird, bei der Übertragung von Momenten der größere Querschnitt mit geringeren inneren Kräften größere innere Momente liefert.

Wenn man genau wissen will, welcher Baustoff die leichteste Bauart möglich macht, dann sind vergleichende, maßstäbliche Entwürfe und Gewichtsberechnungen unentbehrlich. Für gewisse Hauptbelastungsfälle läßt sich jedoch eine allgemeine Übersicht über den gegenseitigen Einfluß von Raumgewicht und zulässiger Spannung geben.

Sind G_1 und G_2 die Gewichte eines Bauteiles bei Verwendung verschiedener Baustoffe, γ_1 und γ_2 die Raumgewichte und k_1 und k_2 die zulässigen Normalspannungen, dann ist für einen

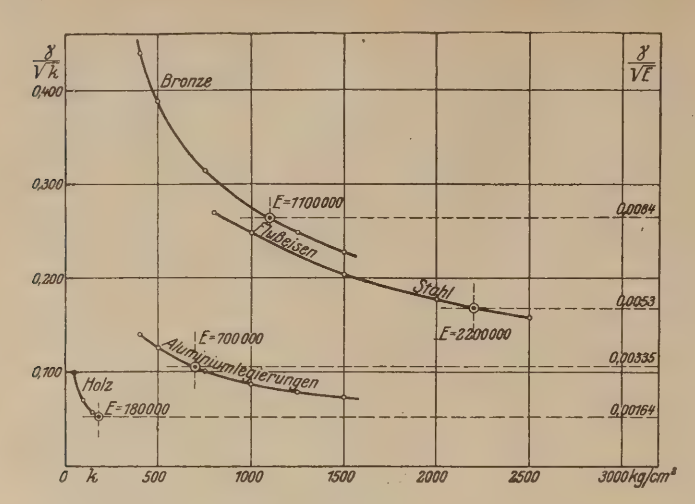


Abb. 2. Gewichtverhältnis $\frac{\gamma}{\sqrt{k}}$ und $\frac{\gamma}{\sqrt{E}}$. $\frac{\gamma}{\sqrt{k}}$ für Biegung bei gegebener Querschnittbreite sowie für aufgelegte und eingeklemmte Platten. $\frac{\gamma}{\sqrt{E}}$ für Knickung nach Euler.

auf Zug oder Druck belasteten Stab, sofern nicht Knickung in Betracht kommt, allgemein

$$G = F l \gamma$$
$$F = P : k$$
$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{k_1} : \frac{\gamma_2}{k_2}.$$

Die Gewichte verhalten sich demnach umgekehrt wie die bereits definierten Gewichtsfestigkeiten.

Bei Untersuchung auf Biegung seien gleiche Biegungsmomente an den entsprechenden Stellen der verschiedenen Balken vorausgesetzt. Die Gestalt der Querschnitte kann jedoch außer vom Material von verschiedenen äußeren Umständen abhängen.

Zuerst sei angenommen, daß die Querschnitte einander ähnlich sind, so daß sich ihre Flächen wie die Quadrate irgendeiner linearen Abmessung, z. B. d, und die Widerstandsmomente wie die dritten Potenzen verhalten. Beziehen sich die Kennzahlen 1 und 2 auf zwei Balken aus verschiedenem Stoff, so ist unter den genannten Voraussetzungen an Stellen gleicher Biegungsmomente

$$W_1 k_1 = W_2 k_2$$

oder

$$d_1^3 : d_2^3 = \frac{1}{k_1} : \frac{1}{k_2}$$
$$F_1 : F_2 = d_1^2 : d_2^2 = \left(\frac{1}{k_1}\right)^{2/3} : \left(\frac{1}{k_2}\right)^{2/3}$$
$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{k_1^{2/3}} : \frac{\gamma_2}{k_2^{2/3}}.$$

Da die Gewichte aller Querschnitte in diesem Verhältnis stehen, so stehen auch die Gewichte der ganzen Balken in diesem Verhältnis, was übrigens, wie leicht ersichtlich ist, auch für prismatische Balken Geltung hat. Ist jedoch aus baulichen Gründen die Höhe eines Balkens gegeben, dann müssen bei rechteckigem Querschnitt die Balkenbreiten den zulässigen Spannungen umgekehrt proportional sein, woraus sich wie bei Zug und Druck ergibt, daß sich die Gewichte umgekehrt wie die Gewichtsfestigkeiten verhalten. Ist die Breite eines Balkens gegeben, dann nehmen die Widerstandsmomente proportional dem Quadrat der Höhe zu, während die Querschnitte dieser Höhe einfach proportional sind.

$$k_1 h_1^2 = k_2 h_2^2$$
$$h_1 : h_2 = \frac{1}{k_1^{1/2}} : \frac{1}{k_2^{1/2}}$$
$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{k_1^{1/2}} = \frac{\gamma_2}{k^{1/2}}.$$

Bei Drehkräften und kreisförmigen Querschnitten verhalten sich die Widerstandsmomente wie die dritten Potenzen der Durchmesser, so daß sich die Gewichte wie bei Balken mit ähnlichen Querschnitten verhalten, die auf Biegung belastet sind.

$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{k_1^{2/3}} : \frac{\gamma_2}{k_2^{2/3}};$$

k ist hierbei allerdings die zulässige Schubspannung.

Hat man es mit Knickung zu tun, wofür die Eulerschen Formeln gelten, dann ist $E_1 J_1 = E_2 J_2$.

$$J_1 : J_2 = E_2 : E_1 = d_1^4 : d_2^4$$
$$F_1 : F_2 = d_1^2 : d_2^2 = \sqrt{E_2} : \sqrt{E_1}$$
$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{E_1^{1/2}} : \frac{\gamma_2}{E_2^{1/2}}.$$

Es lohnt auch, auf die elastischen Formänderungen bei Verwendung verschiedener Baustoffe einen Blick zu werfen. Bei Balken mit ähnlichen Querschnitten verhalten sich die größten Durchbiegungen

$$f_1 : f_2 = \frac{1}{E_1 J_1} : \frac{1}{E_2 J_2}.$$

Da jedoch

$$d_1 : d_2 = \frac{1}{k_1^{1/3}} : \frac{1}{k_2^{1/3}}$$

so wird

$$f_1 : f_2 = \frac{1}{E_1 k_1^{4/3}} : \frac{1}{E_2 k_2^{4/3}}.$$

Bei eingeklemmten oder frei aufliegenden Platten verhalten sich unter sonst gleichen Umständen die Spannungen umgekehrt wie die Quadrate der Plattenstärken, also

$$d_1^2 : d_2^2 = \frac{1}{k_1} : \frac{1}{k_2}.$$

Da

$$G_1 : G_2 = d_1 \gamma_1 : d_2 \gamma_2,$$

so wird

$$G_1 : G_2 = \frac{\gamma_1}{k_1^{1/2}} : \frac{\gamma_2}{k_2^{1/2}}.$$

Bei Verwendung verschiedener Baustoffe sind also unter sonst gleichen Umständen die Gewichte der Bauteile proportional einem Bruch, dessen Zähler das Raumgewicht des betreffenden Baustoffes ist und dessen Nenner gebildet wird

- bei Zug und Druck und bei Biegungsträgern von gleicher Querschnittshöhe durch die zulässige Spannung k,
- bei Biegungsträgern von gleicher Breite der Querschnitte und bei Platten durch $k^{1/2}$,
- bei Biegung von Balken mit ähnlichen Querschnitten und bei Drehung durch $k^{2/3}$ und
- bei Knickung nach Euler durch $\sqrt{E}$.

Um von den in der Wirklichkeit möglichen Verhältnissen eine anschauliche Darstellung zu geben, habe ich diese vier verschiedenen Nenner für vier Gruppen von Raumgewichten dargestellt, Abb. 1 bis 3, und zwar für 0,7, entsprechend hartem Holz, für 2,8, entsprechend den Aluminiumlegierungen, für 7,9, entsprechend Eisen und Stahl, und für 8,8, entsprechend Kupferlegierungen. Die Abszissen entsprechen den zulässigen Spannungen bzw. dem Elastizitätsmodul, die Ordinaten den Gewichtsverhältnissen.

Bei genauer Betrachtung der Kurven erkennt man, daß die Art der Belastung für die Brauchbarkeit eines Baustoffes im Leichtbau von großer Bedeutung ist, weil das Gewicht stets dem Querschnitt entsprechend, der Widerstandswert dagegen in verschiedenen Potenzen ähnlicher Abmessungen zunimmt. Die Kurven machen es deutlich, warum so verschiedene Baustoffe, wie Holz und hochwertiger Stahl, bei bestimmten Belastungsfällen im Leichtbau miteinander in Wettbewerb treten können.

Selbstverständlich gelten diese Betrachtungen nur allgemein. Sie können bei der Auswahl der Baustoffe durch Erwägungen anderer Art stark überlagert werden. [A 416]

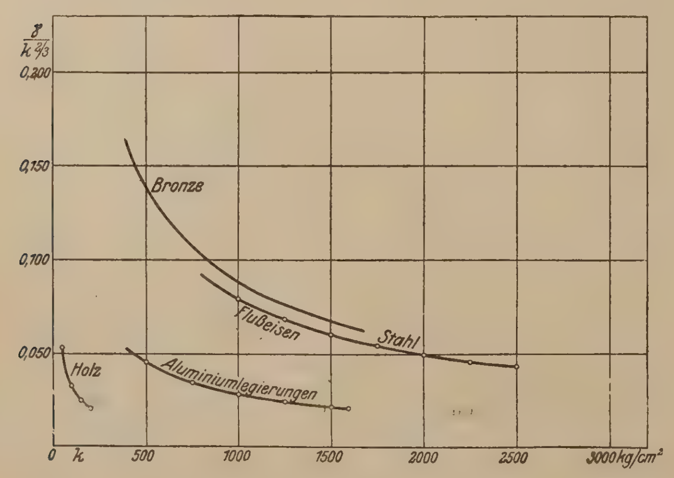


Abb. 3. Gewichtverhältnis $\frac{\gamma}{k^{2/3}}$ für auf Biegung beanspruchte Balken mit ähnlichen Querschnitten und für Drehung bei Kreisquerschnitten.

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN UND AUSSICHTEN DES MOTORLOSEN FLUGES.

Von Dr.-Ing. A. Pröll, Hannover.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung Luftfahrtechnik und Ingenieurwesen.

Darstellung der allgemeinen mechanischen Grundlagen des Gleitfluges und des statischen wie dynamischen Segelfluges. Die Möglichkeiten des „Aufwindes". Besondere konstruktive Eigentümlichkeiten und Flugleistungen der Segelflugzeuge. Die Anwendungen des Segelfluges zu wissenschaftlichen und Verkehrszwecken (Klein- und Hilfsmotorflugzeug).

Die Frage der Beförderung von Menschen und Gütern mit Flugzeugen hat neben dem allgemeinen auch das besondere technische Interesse, daß das Flugzeug wohl das einzige Verkehrsmittel ist, bei dem die Antriebleistung innerhalb ziemlich weiter Grenzen von der Geschwindigkeit nahezu unabhängig ist, und daß diese an sich meist hohe Leistung für eine bestimmte Geschwindigkeit (ähnlich wie die Lagerreibung bei einer bestimmten Umfangsgeschwindigkeit des Zapfens) einen Kleinstwert erreicht.

Eigenartig und bezeichnend ist hier aber der Unterschied gegenüber andern Verkehrsmitteln in dem Verhalten beim motorischen Antrieb und unter dem Einfluß der Schwere. Aus dem eingangs erwähnten Grunde bietet das Motorflugzeug die Möglichkeit, die Geschwindigkeit wie bei keinem andern Verkehrsmittel zu steigern, wozu freilich auch der Vorteil des Flugbetriebes beiträgt, daß er vom Weg unabhängig ist und keine vorbereitete Bahn, sondern nur Stützpunkte braucht.

Für den vom wirtschaftlichen Standpunkte allein interessierenden Verkehr mit bestimmtem Endziel in gegebener Zeit ist nun diese Verbindung der beiden Dinge: flacher Gleitwinkel und große Geschwindigkeit bei Unabhängigkeit von Weg und Bahn besonders erwünscht und darum hat man auch den Verkehr mit motorlosen Flugzeugen als zukunftsreich angestrebt.

Allerdings scheint der motorlose Flug, der in den letzten drei Jahren das wichtigste flugtechnische Ereignis gewesen ist, an einem kritischen Punkt angelangt zu sein, nachdem das letzte Jahr nicht mehr so erhebliche Fortschritte gebracht hat und es insbesondere nicht gelungen ist, das Segelflugzeug vom Berghang zu lösen. Daß es sich dennoch nicht um einen Eintagserfolg handelt, der durch die besonderen Verhältnisse in Deutschland bedingt war, zeigt das rege Weltinteresse an dieser Frage, die sofort einsetzenden ähnlichen Versuche in Frankreich und England. Die Wichtigkeit und Bedeutung des Segelfluges liegt zunächst in der Abkehr vom „fliegenden Motor", der mit seinen

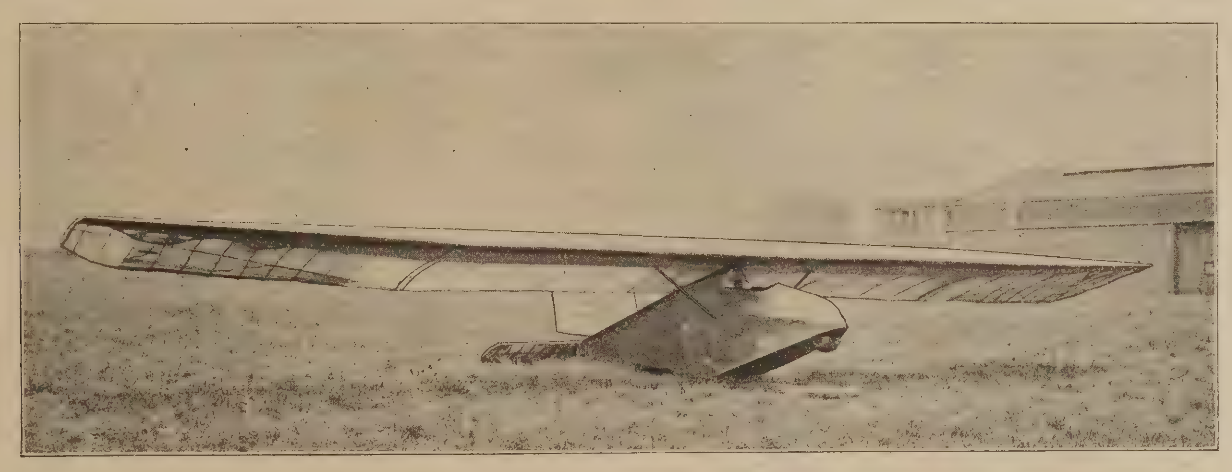


Abb. 1. Segelflugzeug „Vampyr" (1922).

riesigen Leistungen wohl für Krieg- und Rekordzwecke (400 km/h Geschwindigkeit) niemals aber für einen wirklich rentablen Luftverkehr in Frage kommen könnte. Der wirtschaftliche Gedanke führte wieder zurück zu den ersten Anfängen der Fliegerei, wo nur schwache Motoren verfügbar waren. Aber nun wagte man radikal den Versuch, die Naturkräfte selbst heranzuziehen und den Wind für das Schweben des Flugzeugs auszunutzen.

Ist also in dieser Hinsicht das Motorflugzeug jedem andern Bodenverkehrsmittel weit überlegen, so liegen die Verhältnisse durchaus verschieden für das motorlose Flugzeug, das sinngemäß mit einem Bodenfahrzeug verglichen werden muß; denn es ist ebenso wie dieses der Schwere unterworfen und befindet sich in einem Gleitzustand auf einer schiefen Ebene. Hier ist das Bodenfahrzeug sogar im Vorteil, weil es weit geringere (günstigere) Werte des Gleitwinkels ausnützen und daher bei gleichem Höhenunterschied viel längere Strecken ohne Motorantrieb zurücklegen kann. Denn der Gleitwinkel hat beim Bodenfahrzeug einen Mindestwert für die kleinste Geschwindigkeit, wenn die Haftreibung überwunden ist, und dieser Mindestwert kann durch Verringerung der Reibungs- und Rollverluste (Kugellager usw.) z. B. bei einem Eisenbahnfahrzeug ohne Triebwerk bis auf rd. $^1/_{200}$ heruntergebracht werden.

Beim Gleitflugzeug dagegen ist stets die Nebenbedingung der aerodynamischen Tragkraft zu erfüllen, die nach der Formel[1])

$$\frac{G}{F} = \frac{\gamma}{2g}\, c_a\, v^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

eine bestimmte kleinste Geschwindigkeit bedingt, so daß der günstigste Gleitwinkel nicht unter

$$\beta = \left(\frac{c_w}{c_a}\right)_{\min} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

sinken kann. Diese Zahl, die durch die günstige Formgebung (Profilwahl) vielleicht noch ziemlich herabgedrückt werden kann, beträgt bei unsern besten Segelflugzeugen bisher etwa $^1/_{15}$ bis $^1/_{25}$.

¹) Bezeichnungen: v = Geschwindigkeit, c_a = Auftrieb-Beiwert des Flügelquerschnittes, c_w = Widerstand-Beiwert des ganzen Flugzeuges, γ = spezifisches Gewicht der Luft, β = Gleitwinkel, $\frac{G}{F}$ = Flächenbelastung.

Allgemeine mechanische Grundlagen des Segelfluges.

Auch das Segelflugzeug fliegt eigentlich nicht motorlos, nur liegt sein Motor nicht im Flugzeug, sondern außerhalb. Den „Gleiter" treibt die Schwerkraft allein, das Segelflugzeug außerdem noch der Wind und die verschiedenen Möglichkeiten, ihn auszunutzen; diese bieten sich ihm gerade so wie dem großen Raubvogel oder dem Albatros, dessen müheloses Schweben von jeher Bewunderung und Neid der Menschen erregt hat.

Gerade diese Möglichkeiten, den Wind auszunutzen, kommen für uns hier am meisten in Betracht. Es handelt sich im Grunde genommen immer um eine Frage der Relativbewegung zwischen Flugzeug und umgebender Luft. Aus dem wechselvollen Spiel der Relativgeschwindigkeit und Beschleunigung des Flugzeuges und der „Führungsgeschwindigkeit" (bzw. Beschleunigung) des das Flugzeug tragenden Windes ergeben sich dann die mannigfaltigsten Möglichkeiten, die der gute Flieger durch geschickte Steuerbetätigung in vorausbestimmte wirkliche Bahnen seines Flugzeuges gegen die Erde umzusetzen verstehen muß.

Gleitflug.

Die theoretischen Vorbedingungen für den Gleitflug in ruhiger Luft sind von elementarer Einfachheit. Es handelt sich immer um den Abstieg aus einer gegebenen Anfangshöhe des

Flugzeugs, entweder auf möglichst weite Strecke oder in möglichst langer Zeit. Im ersten Falle, der dem eingangs erwähnten Beispiel entspricht, ist die Bedingung des kleinsten Gleitwinkels (flachste Bahn, Entfernungsrekord) einzuhalten, wozu das Verhältnis $\frac{\text{Widerstand}}{\text{Auftrieb}} = \left(\frac{c_w}{c_a}\right)$ durch geeignete Gestaltungsmaßnahmen zu einem Mindestwert zu machen ist. Der zweite Fall (bei dem es sich etwa um einen Dauerrekord handeln könnte) erfordert, wie eine kurze Rechnung zeigt, die kleinste senkrechte Geschwindigkeitskomponente, sogenannte Sinkgeschwindigkeit v_s, die durch die Formel

$$v_s = \sqrt{\frac{2\,g}{\gamma}}\sqrt{\frac{G}{F}}\sqrt{\left(\frac{c_w^2}{c_a^3}\right)} \approx 4\sqrt{\frac{G}{F}}\sqrt{\left(\frac{c_w^2}{c_a^3}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

gegeben ist. Auch hier werden besondere späterhin noch zu besprechende konstruktive Mittel den Erfolg verbürgen.

Der einfache Gleitflug bietet sonst weiter keine bemerkenswerten Eigentümlichkeiten. Wir werden aber sehen, daß er für die wissenschaftlich-experimentelle Forschung von größtem Wert ist, und man muß es daher bedauern, daß reine Gleitflüge mit unsern guten Flugzeugen von unsern Segelfliegern so selten ausgeführt worden sind, weil diese für die Rekordflüge stets auf kräftige Windhilfe angewiesen sind[1]).

Im allgemeinen ist aber der Gleitflug nur Mittel zum Zweck; denn ein Gleitflugzeug, das die vorgenannten beiden Bedingungen in möglichst günstiger Weise erfüllt, wird auch in der Lage sein, den statischen Segelflug mit gutem Erfolg auszuführen.

Segelflug im Aufwind.

Wir haben nämlich zwei Hauptarten des Segelfluges zu unterscheiden: das Segeln im Aufwind, d. h. den statischen, und den dynamischen Segelflug. Als Aufwind bezeichnen wir dabei jede Art von Luftströmung, die eine senkrecht aufwärts gerichtete Komponente, also eine Hubgeschwindigkeit besitzt. Vermöge der vorhin erwähnten Relativbeziehungen ist es ohne weiteres einleuchtend, daß die Sinkgeschwindigkeit des Flugzeuges durch die Hubgeschwindigkeit des Windes um so mehr aufgehoben oder überboten werden kann, je kleiner die erstere und je größer die letztere ist.

Da die Windhubgeschwindigkeiten von geringer Stärke verhältnismäßig sehr häufig und an sehr vielen Stellen vorkommen, so ist damit der außerordentliche Wert zu verstehen, den man bei der Ausbildung von Segelflugzeugen auf geringste Sinkgeschwindigkeit zu legen pflegt. Solche Flugzeuge werden darum auch sehr viel öfter in der Lage sein, den statischen, d. h. unbeschleunigten Segelflug auszuführen, und mit ihnen ist es auch möglich, Dauerrekorde wie die eines Hentzen und Maneyrol[2]) von beliebiger Länge zu erreichen. Auch bei den Vögeln ist diese Art des Segelfluges im Aufwind häufig zu finden; sie ist freilich auch dort nur ein Mittel zu dem Zweck, über geeignetem Gelände mühelos nach Beute spähen zu können; eine bestimmte gewollte Ortveränderung ist damit nicht verbunden. (Beispiel: die Helgoländer Steilküste usw.)

Für den menschlichen Segelflieger ist aber die wichtigste Frage die nach dem Vorkommen und der Stärke eines solchen Aufwindes, weiter auch, wie man ihn erkennt, und endlich, wie er ausgenutzt werden kann. Die aerologischen Forschungen der letzten Jahre haben uns eine Fülle von Möglichkeiten dieser Art gezeigt. Bisher freilich ist es eigentlich nur möglich gewesen, eine einzige von diesen auszunutzen, nämlich den Hangwind an der Luvseite eines Berges, wo sich der Aufwind sozusagen von selbst ergibt. Darum sind auch bisher nahezu alle Segelflugversuche an einen Berg, insbesondere an die für diesen Zweck hervorragend günstige Wasserkuppe in der Rhön, gebunden gewesen.

Die Höhe und wagerechte Erstreckung (ausnutzbare Einflußweite) des Hangwindes ist naturgemäß sehr verschieden nach dem Gelände sowie der Art und dem Entstehen des Windes. Die Erfahrungen an der Wasserkuppe haben erkennen lassen, daß noch bis zu 350 m über ihrer höchsten Erhebung für den Schwebeflug unsrer Flugzeuge genügende aufsteigende Strömungen vorhanden sind, und Dr. Georgii hat aus diesen Beobachtungen und geschickten Rechnungen wichtige praktische Regeln und Formeln abgeleitet[3]).

[1]) Vergl. hierzu S. 561: Wissenschaftliche Ausnutzung, 2. Absatz.

[2]) Der Weltrekord (8 h 42′) in Rossitten am 11. Mai d. J. ist eine hervorragende fliegerische und persönliche Leistung des Ostpreußen Schulz, die er bei einer Windstärke von 12 bis 14 m/s und entsprechend starken Aufwinden ausführen konnte.

[3]) Sehr bemerkenswert ist in dieser Hinsicht der Flug von Martens in Rossitten, der bei starken Aufwinden entlang den Dünen stellenweise Höhen von 240 m erreichte, (4 bis 5 mal höher als die Dünen selbst!) Hier scheinen übrigens thermische Einflüsse stark mitgewirkt zu haben.

Aber es ist begreiflich, daß der Wunsch nach Loslösung vom Berghang immer lauter geworden ist. Es seien von den sonstigen Aufwindmöglichkeiten nur noch kurz erwähnt der thermische und der Reibungsaufwind. Der durch Wärmeausgleich hervorgerufene ist als wichtige Grundlage für einen zukünftigen, vielleicht weiter ausgedehnten Segelflug dort anzutreffen, wo die meteorologischen Verhältnisse dafür günstig sind, so vor allem beim Übergang von größeren Wasserflächen zum Lande, wenn bei stärkerer Sonnenbestrahlung die über dem Erdreich erwärmte Luft eine aufsteigende und unten landeinwärts fließende Strömung zur Folge hat. Auch an Stellen, wo sich ein vom normalen isothermischen Temperaturgefälle (½° für je 100 m) abweichendes in der Atmosphäre einstellt, ist mit dem Aufstieg größerer Luftmassen zu rechnen, und ihre Steiggeschwindigkeit erreicht dabei sehr häufig Werte, welche die Sinkgeschwindigkeit unsrer besten Segelflugzeuge ausgleicht oder übersteigt.

In größeren Höhen, besonders unterhalb von Haufenwolken (cumuli) finden sich außerdem fast immer atmosphärische „Wirbelstraßen" von mehr oder weniger wagrechter und oft meilenweiter Erstreckung. In ihrer Umgebung herrscht dann auf der einen Seite Aufströmung, die für einen dauernden weitgestreckten Segelflug sehr wohl zu benutzen wäre. Ebenso ist die Verzögerung der Windgeschwindigkeit infolge der größeren Reibung beim Übergang von Wasserflächen auf Land mit örtlich begrenzten Aufwinden verbunden, die recht oft kräftig genug sind, um ein Flugzeug zu tragen.

Man wird hieraus erkennen, daß sich tatsächlich sehr häufig und fast überall aufsteigende Luftströmungen von genügender Größe finden, um die Ausführung des statischen Segelfluges zu ermöglichen. Aber ebenso ist klar, daß die größte Schwierigkeit und das zunächst noch nicht überwundene Hindernis darin besteht, diese Strömungen, die fast immer mehr oder weniger örtlich begrenzt sind, schon von vornherein und rechtzeitig zu erkennen und dann das Flugzeug in sie hineinzubringen sowie es dort zu erhalten. Dazu fehlen uns zunächst einmal die genügenden aerologischen Kenntnisse. Es wird tatsächlich von unsern Fortschritten auf diesem Gebiet abhängen, wie weit wir den Segelflug ausdehnen können. Umfangreiche planmäßig bearbeitete Beobachtungsergebnisse (besonders aus Freiballonfahrten) und eine vielleicht durch Jahre hindurch fortgesetzte Schulung wird die Züchtung des erforderlichen „Luftinstinktes" gewährleisten, den der Segelflieger der Zukunft haben muß. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man dazu auch neue Verfahren finden wird, die auf größere Entfernungen und Höhe hin schon die gesuchten aufsteigenden Strömungen schnell und auch nach ihrer Stärke hin auffinden lassen werden.

Die weitere Schwierigkeit, das Flugzeug in diese Strömungen und möglichst in der gewollten Richtung von einer Aufströmung zur andern zu bringen, wird vielleicht durch besondere Abflugarten (Drachenabflug an langer Leine) oder etwa durch einen Hilfsmotor überwunden werden können. Ein Beispiel in diesem Sinne bietet der 19 km-Flug von Botsch mit dem „Konsul", wobei mehrere Berghangwinde an den Ausläufern der Rhön in geschickter Weise nacheinander benutzt und die Zwischenräume in flachem Gleitflug überwunden wurden[4]).

Dynamischer Segelflug.

Am meisten umstritten im letzten Jahre war jedoch die Frage nach dem dynamischen Segelflug. Es war geradezu das erhoffte Ereignis des Flugwettbewerbes 1923, mit dem man den Segelflug auch über der Ebene zu ermöglichen gedachte. Grundsätzlich ist ja die Aufgabe, einen schweren Körper in der Luft schwebend zu erhalten, lösbar durch Anwendung genügender Massenkräfte, die durch beschleunigte Luftbewegung geweckt werden, im Gegensatz zu den bisher betrachteten gleichförmigen Luftströmungen, die den statischen Auftrieb hervorrufen. Die Luftmassen werden aber dann nicht mehr aktiv vom Flugzeug aus beschleunigt, sondern durch den Wind, der somit in seinen Stärkeschwankungen („Böigkeit", worunter hier zunächst nur wagrechte Geschwindigkeitsänderung zu verstehen ist) die für den Schwebezustand erforderliche Energie enthalten muß. Gleichzeitig wird durch diese Energieabgabe die Windschwankung ausgeglichen und beruhigt. Es ist leicht zu erkennen, wie sich durch eine Relativbeschleunigung b des Windes entgegen der Bewegungsrichtung des Flugzeuges Hubwirkungen ermöglichen lassen, denn die dabei entstehenden Trägheitskräfte wirken wie ein wagrechter Propellerzug von der Stärke

$$P = b\left(\frac{G}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

[4]) Bei dem jüngsten Segelflugwettbewerb in Rossitten gelang Martens ein etwa 10 km langer Segelflug parallel zu den Dünen und etwa quer zum Aufwind. Der Flug mußte leider an der littauischen Grenze unterbrochen werden, deren Überfliegen nicht gestattet worden war.

und haben als solche nach der Bedingung des Gleichgewichtes zwischen Antrieb- und Hubleistung

$$P\,v = G\,\Delta v_h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

eine zusätzliche Hubgeschwindigkeit

$$\Delta v_h = b\,\frac{v}{g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

zur Folge, die die Sinkgeschwindigkeit wie auch die Gleitzahl des Flugzeuges zu vermindern bzw. aufzuheben vermag.

Für dauerndes dynamisches Schweben müßte aber der Wind regelmäßige periodische Schwankungen von genügender Stärke zeigen. Eine solche Schwankung könnte offenbar am besten dadurch ausgenutzt werden, daß das Flugzeug bei Richtungsänderung der Bö stets gegen diese einschwenken würde, aber dieses Manöver läßt sich in solcher Weise nicht ausführen. Selbst wenn es möglich wäre, könnte es bei dem wohl niemals einfach harmonischen Verlauf der Bö nur für eine einzige — die langsamste — Schwankung einen Erfolg haben, während die höheren Schwankungen und die Schwingungen unausgenutzt blieben. In Wirklichkeit wird das Flugzeug mit größerer oder



Abb. 2. Der erste „Vampyr" im Fluge (1921).

geringerer Annäherung im Takte der niedrigsten Perioden der Windschwankungen kreisen müssen.

Den erzielbaren Höhengewinn kann man dabei etwa folgendermaßen abschätzen: Der Wind schwanke nach einer allgemeinen periodischen Funktion über der mittleren konstanten Windgeschwindigkeit w_0. Es sei also mit der Periode $T = \frac{2\pi}{\omega}$ der niedrigsten Schwankung

$$w = w_0 + w_1 \sin\omega t + w_2 \sin 2\omega t + \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad (7).$$

Das Flugzeug kreise mit der Periode $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$ und einem gewissen Phasenwinkel φ gegenüber der Grundschwingung des Windes[1]). Daraus folgt eine mittlere ausgenutzte Beschleunigung, bei der also $\frac{dw}{dt}$ noch mit dem jeweiligen Kurswinkel $\cos(\omega_1 t + \varphi)$ des Flugzeuges multipliziert werden muß,

$$[b] = \frac{1}{T_1}\int_0^{T_1}\left(\frac{dw}{dt}\right)\cos(\omega_1 t + \varphi)\,dt$$

$$= \frac{\omega}{T_1}\left\{w_1\int_0^{T_1}\cos\omega t\cos(\omega_1 t + \varphi)\,dt\right.$$

$$\left.+ 2w_2\int_0^{T_1}\cos 2\omega t\cos(\omega_1 t + \varphi)\,dt + \cdots\cdots\right\}.$$

Die Ausrechnung ergibt mit

$$\frac{1}{T_1} = \frac{\omega_1}{2\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

$$[b] = \frac{\omega_1}{2\pi}\left\{w_1\left[\cos\varphi\left(\frac{\omega^2}{\omega^2-\omega_1^2}\right)\sin\left(\frac{2\pi\omega}{\omega_1}\right)\right.\right.$$

$$\left. - \sin\varphi\left(\frac{\omega\,\omega_1}{\omega^2-\omega_1^2}\right)\cos 2\pi\frac{\omega}{\omega_1}\right] + w_2\left[\cos\varphi\left(\frac{4\,\omega^2}{4\,\omega^2-\omega_1^2}\right)\sin 4\pi\frac{\omega}{\omega_1}\right.$$

$$\left.\left. - \sin\varphi\left(\frac{4\,\omega\,\omega_1}{4\,\omega^2-\omega_1^2}\right)\cos 4\pi\frac{\omega}{\omega_1}\right]dt + \cdots\cdots\right\} \quad \ldots\ldots \quad (9).$$

Für taktmäßiges Kreisen des Flugzeuges mit einer im Verhältnis zu einer Böenoberschwingung $(k\,\omega)$ übereinstimmenden Periode ω_1 verschwinden sämtliche Glieder bis auf eins, das den Wert $\frac{0}{0}$ annimmt und in einfacherer Weise unmittelbar berechnet



Abb. 3. Das Hannoversche Segelflugzeug „Greif" im Fluge.

werden kann. Die entsprechende zusätzliche Hubgeschwindigkeit Δv_h wird dann nach Gl. (5) berechnet und ergibt im günstigsten Fall und wenn nur die „erste Welle" berücksichtigt wird, mit $T_1 = T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$\Delta v_h = \frac{w_1 v}{2g}\,\omega\cos\varphi = \frac{\pi w_0 v}{g\,T}\left(\frac{w_1}{w_0}\right)\cos\varphi \quad \ldots\ldots \quad (10).$$

Diese Hubgeschwindigkeit (und damit der erzielbare Höhengewinn für eine Periode) wächst daher mit der Windgeschwindigkeit w_0 und der relativen Stärke der Böenschwankung, ferner mit der Raschheit des Kreisens (ω_1) und der Eigengeschwindigkeit des Flugzeuges. Z. B. würde für 10 m/s Windstärke mit 50 vH Böenschwankung bei $v = 12$ m/s und einer Böendauer von 20 s mit einer „Nacheilung" $\varphi = 45°$ (entsprechend 2½ s) eine zusätzliche Hubgeschwindigkeit von 0,72 m/s auftreten, die in der Tat beim Kreisen auch über der Ebene genügen würde, unsre Segelflugzeuge im Schweben zu erhalten.

Böiger Wind von der angegebenen Stärke kommt tatsächlich öfter vor, doch sind genaue und längere Zeit durchgeführte Aufzeichnungen hierüber noch wenig bekannt geworden. Von Langley stammen Messungen, die das Gesagte bestätigen, daneben aber auch die starken Amplituden-, ja auch Periodenschwankungen erkennen lassen. Nach diesen Messungen muß es wohl als ziemlich aussichtslos erscheinen, durch verfeinerte Rechnung größere Genauigkeit zu erzielen, als es hier überschläglich versucht wurde.

Da somit die Periodizität der Böen nur selten längere Zeit gleichmäßig anhält, so wird es auch nur zufällig gelingen, auf solche Weise einen nennenswerten Höhengewinn aus dem dynamischen Segeln zu ziehen. Denn man muß bedenken, daß der

[1]) In sehr klarer und knapper Form hat Everling diese an sich nicht neuen, aber vielfach unverstandenen Beziehungen in einer kürzlich erschienenen Arbeit „Zur Mechanik des Segelfluges" im Jahrbuch der Wiss. Ges. für Luftfahrt 1923 auseinandergesetzt und die bei jeder Art von Segelflug erreichbaren Höhengewinne in einer Zahlentafel zusammengestellt.

der Rechnung zugrunde gelegte Idealfall mit Verzögerungen behaftet ist, die zwischen dem Einsetzen der Bö und der richtigen Steuerbetätigung sowie dem Eintritt ihrer Wirkung liegen, Verzögerungen, die teils durch die Unvollkommenheit unsres „Böengefühls“, der Reaktionsgeschwindigkeit des Fliegers und der Trägheit der Steuerorgane bedingt sind. Diese Umstände werden sich in einem Nachhinken der Steuerwirkung und daher in einem zusätzlichen Phasenwinkel φ, der bei den obigen Formeln eingeführt wurde, auswirken, ohne daß es möglich wäre, die Größe dieses Winkels anders als schätzungsweise anzugeben.

Dynamischer Segelflug in richtungsänderndem Wind.

Eine andre Möglichkeit zur Ausnützung der im Wind enthaltenen Energie ergibt die Tatsache, daß nicht bloß die Stärke, sondern auch die Richtung des Windes zuweilen kräftigen Schwankungen unterworfen ist. Nun ist schon vor mehr als 10 Jahren theoretisch von Knoller und Betz gezeigt worden, daß in solchem Fall ein Vorteil für den Flug zu erreichen ist, sofern die Richtungsschwankungen regelmäßig erfolgen und das Flugzeug immer richtig in die Stellung kleinsten Widerstandes eingesteuert wird. Ausführliche Versuche, die Katzmayer in Wien angestellt hat, haben die Richtigkeit dieser Rechnungen erwiesen und insbesondere gezeigt, daß der Vorteil nur dann zu erwarten ist, wenn der Wind die Richtung wechselt, nicht aber, wenn bei Wind gleicher Richtung der Flügel so geschwenkt wird, daß er einen periodisch veränderlichen Anstellwinkel erhält.

Der Mittelwert des Auftriebs ergibt nämlich unter günstigen Bedingungen im ersten Fall eine Komponente, die in die Vortriebsrichtung (nach vorne) fällt und wie ein Propellerzug wirkt, also den Gleitwinkel und die Sinkgeschwindigkeit verringert[1]).

Aber auch für diese Art des dynamischen Segelns gilt das vorhin Gesagte, und es ist ebenso fraglich, ob hier eine praktische Möglichkeit zur Ausnützung vorhanden ist, was um so weniger der Fall sein dürfte, als Wind mit stark wechselnder Richtung verhältnismäßig selten anzutreffen ist[2]).

Man wird also, gerade in dem Bestreben, den dynamischen Flug zu ermöglichen, immer wieder auf das Beispiel der großen Segelvögel zurückkommen und ihr Verhalten genau studieren müssen, um Trugschlüsse zu vermeiden. Es scheint, als wenn auch sie nur sehr selten den dynamischen Flug allein ausführen, und das nachgerade klassisch gewordene Beispiel des stundenlang auf hoher See segelnden Albatros erweist sich als ein günstiges Zusammenwirken von statischem und dynamischem Flug. Denn über der kräftigen Meeresdünung bilden sich Luftwogen mit starker Geschwindigkeitszunahme nach der Höhe zu (ruhende Luftschicht in den Wellentälern!), und solche Geschwindigkeitssprünge können, da sie regelmäßig wiederkehren, dynamisch ausgenutzt werden. Anderseits treten gerade an den Meereswellen aufsteigende Luftströmungen auf, die den statischen Flug unterstützen.

Wie stellt sich nun die Praxis des Segelflugs zu diesen theoretischen Überlegungen? Die Erfahrungen unsrer Segelflieger, die wohl hier und da eine Bö „eingefangen“ haben, im großen ganzen aber doch überwiegend nur den Aufwind ausnützen konnten, bestätigen sie. Es besteht auch wenig Aussicht darauf, daß es vielleicht durch eine besondere selbsttätige Flügelsteuerung oder dergl. gelingen könnte, eine bessere Ausbeute aus der Windenergie zu ziehen, denn die Massenträgheit des Flugzeugs und auch seine absolute Größe sind hindernde Umstände. Es scheint vielmehr, als sei die Größengrenze schon durch unsre größten Segelvögel nahezu erreicht, durch die weitgespannten Segelflugzeuge aber jedenfalls schon längst überschritten. Wahrscheinlich wird aber in Zukunft die höchste Kunst des Segelfliegers in der jeweils besten Ausnutzung aller möglichen Vereinigungen von Hang- und thermischem Aufwind und gelegentlichen starken Böen bestehen. Dies ist aber eine Sache, die nur durch Übung im Lauf von Generationen erreicht werden kann.

Besondere Bauart der Segelflugzeuge.

Es ist nunmehr auf die konstruktiven Besonderheiten hinzuweisen, die das heutige Segelflugzeug vom Motorflugzeug unterscheiden. Denn wenn auch alle theoretischen Grundlagen und vielseitigen Möglichkeiten des motorlosen Fluges klar er-kennbar sind, so ist es doch, wie fast überall in der Technik, ein weiter Schritt bis zur Umsetzung dieser Erkenntnisse in prak-tisch brauchbare Ausführung. Gerade hier aber liegt für jeden Ingenieur ein lehrreiches Beispiel vor, wie beharrliche Verfol-gung von theoretisch aufgestellten Forderungen zum Erfolg führt.

Die wichtigsten kennzeichnenden Forderungen, die aus der Bedingung kleinster Sinkgeschwindigkeit (Gl. 3 S. 558) gute Eigenschaften des Segelflugzeugs gewährleisten, sind

1) Flügelprofil mit verhältnismäßig hohem Auftriebsbeiwert (weil $\frac{c_a^3}{c_w^2}$ groß sein soll),
2) kleinster „induzierter Widerstand“, erreicht durch große Spannweite bei geringer Tiefe,
3) kleinster schädlicher Widerstand infolge günstiger konstruktiver Maßnahmen, z. B. Fahrgestell vom geringsten Widerstand („Rollbälle“ der hannoverschen Maschinen),
4) besonders wirkungsvolle Steuer (Flächengröße und Profile der Ruder entsprechend gewählt),
5) möglichst kleines Gewicht und Trägheitsmoment (für rasche Wendigkeit!),
6) beste werkmäßige Ausführung (Einzelkonstruktionen vom geringsten Gewicht bzw. Widerstand).

Selbstverständlich ist auch auf genügende Festigkeit und Vermeidung von gefährlichen Schwingungen zu achten.

Vergleich der Flugleistungen.

Wenn wir uns dann fragen, was auf diese Weise erreicht werden konnte, so gibt am besten die nachstehende Zahlentafel Antwort, in der einige ältere und neuere Motorflugzeuge mit unsern neuen Seglern zusammengestellt sind.

	Flugzeug	Gewicht (bemannt) kg	Flächenbelastung G/F kg/m²	Gleitwinkel β min.	$\frac{c_a^3}{c_w^2}$	Sinkgeschwindigkeit m/s
Hann. Segelflugzeuge	„Vampyr“ 1922 (1921)	195	12	$^1/_{16}$	302	0,8
	„Greif“ 1922	155	9,3	$^1/_{20}$	290	0,71
	„H 6“ 1923	145	9,7	$^1/_{29}$	720	0,46
Wright Original 1910 . . .		500	9,6	$\approx {}^1/_8$	33	2,16
Halberstädter CL IV 1917 (Kriegsflugzeug)		1028	36	$^1/_9$	61	3,15

Wir erkennen schließlich aus den Ergebnissen der Segelflugwettbewerbe als wichtigste wirklich erreichte Errungenschaft des motorlosen Fluges den flachsten Gleitflug und den Dauersegelflug im schwachen Hangwind sowie darüber hinaus gelegentliche Ziel- und Entfernungsflüge bei geschickter Ausnutzung von Böen und thermischen Aufwinden. Es wäre zweifellos auch mit den jetzigen Mitteln noch mehr zu erreichen, wenn die Flieger durch dauernde Schulung noch besser — ich möchte sagen instinktiver — ausgebildet wären. Denn das ist festzuhalten: Zum guten Segelflugzeug gehört als Ersatz des Motors der instinktiv richtig geleitete Wille des Fliegers! Nicht erreicht ist aber bis jetzt die Möglichkeit, jederzeit und nach beliebiger Richtung und Entfernung hin Zielflüge auszuführen, ebenso wie auch der Flug über der Ebene nach dem oben Auseinandergesetzten bisher noch nicht möglich war.

Da tritt wohl die Frage auf: Hat der Segelflug unter solchen Umständen überhaupt Zweck und Zukunft? — Außer für Sport- und Schulungszwecke, für letztere eignet er sich in der Ta[t] hervorragend, muß da vor allem auf seine wissenschaftliche Bedeutung hingewiesen werden.

Wissenschaftliche Ausnutzung.

Hier ist das Gebiet freilich noch wenig ausgeschöpft, da die bisherigen zahlreichen Flüge doch stets mehr oder weniger auf den Rekord hin angesetzt waren. Allerdings stellen die Konstruktionen der Segelflugzeuge selbst einen wissenschaftlichen Versuch dar; denn sie sind fast alle auf Grund von Modellversuchen entworfen worden, und die erfreuliche Übereinstimmung zwischen der theoretischen Modellvorlage und dem ausgeführten Flugzeug zeigt sich eben in den erhofften und auch wirklich erreichten Flugleistungen. Es lassen sich aber noch manche unmittelbare wichtige Beobachtungen, vor allem über die beschleunigten und verzögerten (sog. nichtstationären) Flugzustände besonders beim Gleitflug gut ausführen, wozu es nur noch der geeigneten, rasch wirkenden Geräte bedarf. Denn das Segelflugzeug ist vermöge seiner geringeren absoluten Geschwindigkeit besonders geeignet, die erwähnten Fragen näher zu prüfen.

---

[1]) Knoller, Zur Theorie des Segelfluges, ZFM Bd. 4 (1913), Betz, Ein Beitrag zur Erklärung des Segelfluges, ZFM Bd. 3 (1912), weiter Hoff, Zur Frage des Segelfluges ZFM Bd. 12 (1922) Heft 19 und 20, Everling, Zur Mechanik des Segelfluges, Jahrbuch der Wissensch. Ges. f. Luftschiffahrt 1923.

[2]) In ähnlicher Weise kann auch durch sogenannten Wellenflug die Windstärkeschwankung ausgenützt werden, wie dies insbesondere von v. Karman in ZFM 1921 Heft 14 gezeigt worden ist. Im Idealfall wird wohl die beste Böenausnützung darin bestehen, daß der Flieger das zeitliche Windschwankungsdiagramm durch ein Höhen-Zeit-Diagramm seines Fluges gewissermaßen zu verfolgen und einzuhüllen sucht.

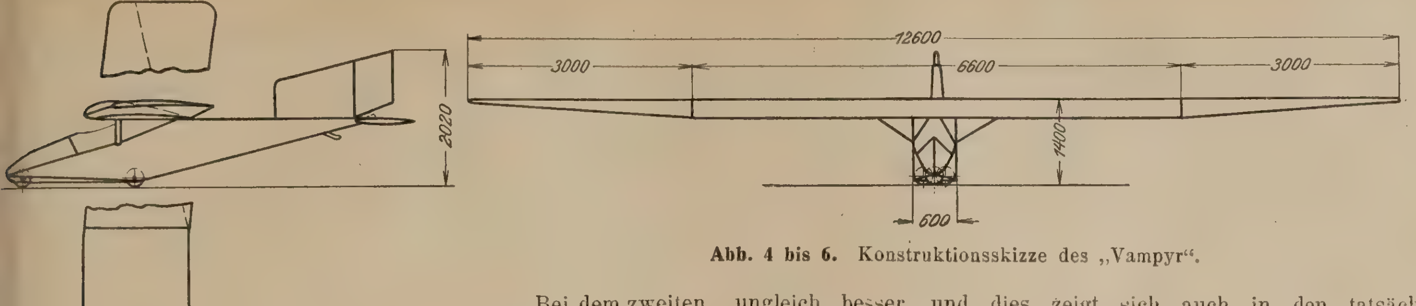


Abb. 4 bis 6. Konstruktionsskizze des „Vampyr".

Bei dem zweiten deutschen Küstensegelflugwettbewerb in Rossitten i. Ostpr. in den Tagen vom 10. bis 16. Mai d. J. bot sich dem Verfasser Gelegenheit, in Gemeinschaft mit Dr. Koschmieder, dem Leiter des Meßtrupps, eine Reihe von guten Gleitflügen bei vollkommener Windstille zu beobachten und aufzumessen. Dazu wurden der „Strolch" von Martens und das hannoversche Flugzeug „H 6", die beide den traditionellen Vampyrtyp Hannovers in bester Ausführung verkörpern, von einem etwa 23 m hohen Sandberg abgelassen und erreichten dabei Flugweiten von 470 bis 560 m bei 40 bis 50 s Flugdauer. Die danach bestimmten Gleitwinkel und Sinkgeschwindigkeiten stimmen insbesondere beim „Strolch" sehr gut mit den theoretisch errechneten überein.

Das Kleinmotor-Flugzeug.

Ein Anwendungsgebiet von allgemeiner Bedeutung dagegen verspricht jetzt schon das Kleinmotor-Flugzeug zu werden. Denn in der Entwicklung des künftigen Luftverkehrs wird neben den Luftschiffen, die den Weltverkehr über die Ozeane vermitteln, und dem raschen Transportflugzeug mit starken Motoren und großer Geschwindigkeit, jedenfalls auch das Kleinflugzeug für den Privatmann eine Rolle zu spielen berufen sein. Es ist der große praktische Erfolg, den der Segelflug schon jetzt für sich in Anspruch nehmen darf, daß man ein leichtes Flugzeug für 2 Personen mit einem 12- bis 15pferdigen Motor betriebsicher bei ziemlich erheblichen Geschwindigkeiten führen kann. Theoretisch verbrauchen unsre besten Segelflugzeuge als Einsitzer nur etwa 100 kgm/s, d. i. etwa 1¼ Nutzpferdestärke. Dabei darf man freilich nicht vergessen, daß zum Start des Flugzeuges eine nicht unwesentlich größere Leistung erforderlich ist und daß weiter wegen des geringen Wirkungsgrades eines so kleinen Motor-Propeller-Satzes eine erheblich höhere Leistung vorhanden sein muß. Vor allem wird hier aber die Motorfrage die Hauptrolle spielen, nachdem das Flugzeug schon einen ansehnlichen Grad der Vervollkommnung erreicht hat. Leider ist man gerade in Deutschland in diesem Punkte noch sehr im Rückstand, während die englische Industrie im Bau kleiner und leichter Flugmotoren schon sehr beachtenswerte Leistungen aufzuweisen hat, wie dies der letzte große Wettbewerb mit Motor-Gleitflugzeugen in Lympne bei London bewiesen hat.

Man könnte fragen, worin denn eigentlich der Fortschritt dieser Leichtmotor-Flugzeuge gegenüber den ältesten Flugmaschinen von Grade, Wright und andern aus den Jahren 1910 und 1911 besteht, die doch auch mit kleinen Leistungen geflogen sind? Da muß man die aerodynamischen Daten dieser ersten künstlichen Vögel in Vergleich ziehen, wie sie in der Zahlentafel für ein Flugzeug aus damaliger Zeit angegeben sind. Der Unterschied springt dann deutlich in die Augen; denn der „aerodynamische Gütegrad", der sich besonders in den Zahlen für die Sinkgeschwindigkeit und den Gleitwinkel ausspricht, ist doch heute ungleich besser, und dies zeigt sich auch in den tatsächlichen vergleichbaren Flugleistungen, abgesehen davon, daß die Ausführung der Einzelheiten und der Aufbau wie auch die Festigkeit des Ganzen heute durchaus höheren Ansprüchen gerecht werden.

Segelflug mit Hilfsmotor.

Eng damit zusammen hängt die Frage des Segelflugzeugs mit Hilfsmotor das wohl zu unterscheiden ist von dem eben besprochenen Leichtmotor-Flugzeug, das dauernd motorisch betrieben wird und daher nicht mehr als Segelflugzeug angesprochen werden kann. Hier wollen wir aber den Hilfsmotor in ein Flugzeug einbauen, das normalerweise den Aufwind zum Segeln ausnützen kann. Darüber hinaus soll es aber imstande sein, sich dauernd schwebend in der Luft zu erhalten und auch selbständig zu starten. Daraus ergibt sich, daß das Flugzeug alle vorbesprochenen Bedingungen für ein vorzügliches Segelflugzeug erfüllen muß und daß die Hilfstriebeinrichtung (Motor und Propeller) organisch mit dem Flugzeug verbunden sein muß, ohne dessen Segeleigenschaften zu stören. Auch muß der Hilfsmotor jederzeit und sofort während des Fluges ein- und ausgeschaltet werden können. Wir sind noch weit entfernt von der Lösung der mit diesen Anforderungen aufgeworfenen Probleme; besonders der Widerstand, den eine Schraube dem Segeln entgegensetzt, ist überaus hinderlich. Der Schraubenpropeller paßt eben nicht organisch zum Segelflugzeug, ebensowenig im Grunde genommen, wie die starre Tragfläche sich dem Wesen des Segelns recht anbequemen kann.

Eine solche Anpassung ist aber organisch möglich, wenn die drei Grundelemente: Tragfläche, Motor und Propeller in der folgenden Zusammenstellung verwendet werden: Elastische und bewegliche Tragflächen mit elastischem (Flügel-)Propeller und langsam bewegtem Kolbenmotor.

Andre Zusammenstellungen sind ebenfalls denkbar, bilden aber keine befriedigende Lösung. Die erwähnte Zusammenstellung würde ein Schwingenflugzeug mit geringer Hubzahl und unmittelbarem Antrieb von einem Kolbenmotor ohne Drehbewegung darstellen. Ohne hier auf die viel umstrittene Frage des Schwingenflugzeugs, zu dessen Lösung ja noch sehr viel fehlt, einzugehen, möge nur auf die Schwierigkeit hingewiesen werden, daß dabei möglichst geringe Beschleunigungen anzustreben sein werden, um die Massenkräfte klein zu halten.

Hier könnte eine genaue zeitmikroskopische Beobachtung und Analyse des Vogelfluges manche Klärung der Grundlagen bringen, wie sie schon von Lilienthal und Mouillard angefangen wurde, und neuerdings durch die Zeitlupe eine erfolgversprechende Fortsetzung gefunden hat. Freilich müßte dabei auch der dynamische Vorgang untersucht werden können, den der Vogelflügel nicht nur als Ganzes, sondern auch in seinen einzelnen Elementen, in dem wunderbaren Bau der Federn und dem Zusammenwirken aller Teile für den Flug zeigt. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß die absoluten Größenverhältnisse vielleicht von entscheidendem Einfluß sein werden, und daß, wenn es überhaupt gelingt, einen Menschen durch Schwingenschläge in der Luft schwebend zu erhalten, dies wohl nur bei den kleinstmöglichen Abmessungen des Flugzeuges denkbar sein wird.

Wieweit eine solche „Flugmaschine" von der heute üblichen Bauart sich unterscheiden und neue Bauelemente, auch vielleicht andre Baustoffe aufweisen wird, möge dahin gestellt bleiben. Aber ebenso wie der Flügel wird voraussichtlich auch der Hilfsmotor des Segelflugzeuges andre Entwicklungswege gehen, wie der des Kleinmotorflugzeuges.

Man sieht, daß in der weiteren Ausgestaltung aller hier besprochenen Gedanken noch ein weiteres großes und dankbares Feld für die Verwertung des Segelfluges liegen wird. Darum dürfen wir die oben gestellte Frage nach seiner Entwicklungsmöglichkeit unbedingt bejahen in der Erwartung, daß durch die gemeinsame Arbeit von Forschern und Fliegern der Segelflug zu einem wichtigen Glied in unsrer Erkenntnis der Natur und zur Beherrschung ihrer Erscheinungen werden wird. [A 413]

DIE BEWIRTSCHAFTUNG DER HILFSSTOFFE.

Von Otto Klein, Hannover-Wülfel.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure.

Es wird darauf hingewiesen, daß in den Betrieben neben den Kosten für die hauptsächlichsten Werkstoffe und die Löhne auch noch beträchtliche Summen für die „Hilfsstoffe" aufgewandt werden und es wird vorgeschlagen, als Grundlage für die Bewirtschaftung dieser Stoffe von einer besonderen Organisation Normen aufzustellen, nach welchen dann die Betriebe die Hilfsstoffe bewirtschaften können

Einleitung.

Die Aufgabe des Betriebsingenieurs ist allgemein, die Fertigung möglichst wirtschaftlich vor sich gehen zu lassen. Hat der Konstrukteur bei Wahl der Stoffe und Formen sein Möglichstes getan, um ein gutes und preiswertes Erzeugnis zu erzielen, so ist es nun Aufgabe des Betriebsingenieurs, das erstrebte Ziel durch zweckmäßige Betriebführung tatsächlich zu erreichen. Seine Hauptaufgabe ist es, den vorgeschriebenen Stoffen die vorgeschriebene Form zu geben, und es stehen ihm hierfür in neuzeitlichen Werkstätten die allerzweckmäßigsten Einrichtungen zur Verfügung. Er verwendet dabei außerordentlich viel Arbeit darauf, die produktiven Arbeiten so wirtschaftlich wie möglich zu gestalten, er ersinnt die zweckmäßigsten Vorrichtungen und er setzt die Akkorde mit besonders raffinierten Verfahren nach Minuten und Sekunden genau fest. Und wir betrachten es heute als Aufgabe neuzeitlicher Betriebführung, die billigste Fertigung zu suchen auf Grund sorgfältigster Erforschung aller einzelnen Elemente und mit Hilfe erfinderischer Verbindung aller denkbaren Möglichkeiten.

Folgerichtig ist es, daß der Betriebsleiter diese tiefschürfende Forschung und die peinliche Überwachung der täglichen Betriebführung nicht nur den hauptsächlichsten Werkstoffen und nicht nur den produktiven Akkorden, sondern auch allen nebenbei entstehenden Kosten zuwendet. Er soll nicht nur trachten, in der Maschinenfabrik an Eisen und Bronze, in einer Textilfabrik an Wolle zu sparen, er soll nicht seine Zeit erschöpfen im Streit um Tarife und Akkorde, sondern er muß vielmehr seine Aufgabe voll umfassen, sich auch den Nebenkosten zuwenden. Vielerorts behandelt sind schon in dieser Weise die Kosten der Kraft, die Kosten der Beförderung in den Werkstätten u. a., aber wenig Aufmerksamkeit haben meistens noch die Kosten gefunden, die wir für die Hilfsstoffe aufwenden.

1. Festlegung des Begriffes Hilfsstoffe.

Im Rahmen dieses Vortrages sollen als Hilfsstoffe alle im Betriebe verbrauchten Stoffe bezeichnet werden, die außer den hauptsächlichen Rohstoffen dort verarbeitet werden; also in der Maschinenfabrik alle Stoffe außer Eisen und Metalle, in der Textilfabrik alle Stoffe außer Wolle. Nicht hierher gehören also die Fabrikeinrichtungen, die Maschinen, auch nicht die Werkzeuge, wie Feilen, Besen, die in der Werkstatt gebraucht werden, wohl aber alles, was dort verbraucht wird, gleichgültig ob es für das Erzeugnis erforderlich ist, wie z. B. Farbe, oder ob es zur Führung des Betriebes selbst gebraucht wird, wie z. B. Schmieröl.

Es ergibt sich von selbst, daß die Stoffe, die in einem Betrieb als Hilfsstoffe erscheinen, im andern als hauptsächliche Rohstoffe auftreten können, und daß somit der Begriff „Hilfsstoff" fast alle Stoffe umfaßt, mit denen die Betriebe überhaupt zu tun haben, nur mit dem Unterschied, daß im einen Betriebe diese, im andern jene Hilfsstoffe auftreten. Das Kennzeichnende für unsre Aufgabe ist nur das, daß die Stoffe im Betriebe nur Hilfsstoffe sind und deshalb bisher meist nicht mit der Aufmerksamkeit behandelt worden sind, die den an sich gewiß wichtigeren hauptsächlichen Rohstoffen zukommt.

Das Gebiet der Hilfsstoffe ist nach Vorstehendem außerordentlich umfangreich, ich erinnere, um nur ganz wenige herauszugreifen, an folgende:

- Heizstoffe (deren Kosten werden zwar in den meisten Betrieben heute schon beachtet, und doch ist auch ihre Bewirtschaftung fast überall nicht so sorgfältig, wie es als unser Ziel bezeichnet werden muß),
- Schmierstoffe,
- Reinigungsstoffe,
- Dichtungsstoffe,
- Formstoffe (in der Gießerei)
- Klebstoffe,
- Verpackungsstoffe,
- Anstrichstoffe,

und ähnliche ungezählte mehr. Jede dieser und all der andern vorkommenden Gruppen umfaßt wieder eine Menge Stoffe, so z. B. gehören zu den Anstrichstoffen: Farben, Lacke, Terpentin, Terpentinersatz, Spachtel, Verdünnung, Filling up, Bimsstein und alle die andern Stoffe, die der Anstreicher braucht.

2. Wirtschaftliche Bedeutung der Hilfsstoffe.

Das ganze Gebiet ist heute vom Betriebsingenieur und auch von der Fabrikleitung meist wenig beachtet. Der Betriebsingenieur betrachtet das Gebiet der Hilfsstoffe als außerhalb seines Bereiches liegend oft mit einer gewissen Geringschätzung. Er überläßt es den Kaufleuten, die Hilfsstoffe einzukaufen, zu verwalten und zu versuchen, und er schilt höchstens über den Einkauf unbrauchbarer Stoffe. Mit der Redensart, daß man nicht immer das Billigste kaufen sollte, sondern daß das Beste im Betriebe das Billigste sei, ist die Aufgabe aber nicht gelöst.

Dabei sind die Hilfsstoffe schon nach den unmittelbaren Kosten, die für ihren Einkauf aufgewandt werden, durchaus nicht unbedeutend. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure hat versucht, diese Kosten bei einigen hannoverschen Firmen festzustellen und die Beträge zu den Kosten der produktiven Löhne ins Verhältnis zu setzen. Die erhaltenen Angaben sind durchaus nicht erschöpfend, wie ja überhaupt das ganze Gebiet von uns keineswegs durchgreifend bearbeitet ist — dieser Vortrag soll erst die Anregung dazu geben —, und doch erhalten wir schon Angaben, daß die Aufwendungen für die Beschaffung der Hilfsstoffe in einzelnen Maschinenfabriken 10 bis 50 vH der produktiven Lohnkosten erfordern. Hieraus ergibt sich, daß das Gebiet der Hilfsstoffe selbstverständlich nicht das Wichtigste ist, dem wir unsre Aufmerksamkeit zuwenden müssen, daß es aber doch verdient, neben den andern beachtet zu werden. Wenn wir Betriebsingenieure besonders stolz sind auf jede Maschine oder jede Vorrichtung, die es uns ermöglicht, einen produktiven Lohn um einige Hundertteile herabzusetzen, wenn wir versuchen, die Unkosten-Arbeiter nach Möglichkeit zu beschränken, wenn wir beim Einkauf von Maschinen und Werkzeugen den Lieferpreis aufs äußerste herunterdrücken, dann ist es nach den genannten Zahlen sicher richtig, daß wir ähnlich gewissenhafte Verfahren auch bei den Hilfsstoffen anwenden; denn eine Verbilligung des Einkaufes dieser bringt hiernach auch beträchtliche Ersparnisse.

Das ganze Gebiet wird heute meist wenig sachlich bearbeitet. Der Einkauf ruht, da er sich aus vielen Kleinigkeiten zusammensetzt und Stoffe der verschiedensten Art betrifft, meist in den Händen von Einkäufern, denen jede Möglichkeit zur sorgfältigen Beurteilung fehlt. Es gibt bei vielen Hilfsstoffen heute überhaupt keine genaue Bezeichnung nach Art und Güte, es gibt keine Lieferbedingungen und keine Prüfverfahren. Der Einkauf erfolgt ohne Fachleute und ruht bei vielen Stoffen sogar in der Hand untergeordneter Angestellter. Billig einzukaufen ist hier die einzige Losung. Die Lieferanten, nicht gehemmt durch sachliche Prüfung ihrer Ware, sondern bedrückt durch die Quetschverfahren des Einkäufers und noch mehr bedrückt durch Mitbewerber zweifelhafter Gewissenhaftigkeit, sehen sich fast unwiderstehlich gezwungen, die Güte ihrer Ware auf Kosten der Billigkeit zu opfern, ja, es kommen leider sehr viele Fälle vor, wo gefälschte Waren geliefert werden und Täuschungen bezüglich der Menge und Aufmachung versucht werden. Das Gebiet der Schmiermittel, der Dichtungsplatten und vieler andrer ist das gegebene Feld für die schlechtesten Elemente unsres Wirtschaftslebens, die mit allen möglichen unlautern Mitteln versuchen, die reelle Ware, den reellen Handel zu verdrängen und sogar vor der Bestechung nicht zurückschrecken, um die beziehende Firma zu betrügen.

Auch die Lagerung, Verwaltung, Überwachung und Ausgabe der Hilfsstoffe ist oft recht primitiv. Bestenfalls versuchen die Materialverwalter mit recht kindlichen Mitteln ihrer Firma zu nützen und den Betrieb zum sparsamen Verbrauch der Hilfsstoffe anzuhalten, und doch sind uns allen wohl Fälle bekannt, wo wertvolle Hilfsstoffe verschwunden oder verdorben sind. Auch die Diebe wenden sich gern gerade den wenig beachteten Hilfsstoffen zu, zumal viele von ihnen oft recht wertvoll sind. Schnellstahlstücke, ein Topf

mit Lack, eine Gummiplatte lassen sich gar leicht aus dem Werk mitnehmen und außerhalb verkaufen.

Im Betriebe sind dann der Klagen über schlechte Hilfsstoffe sehr viele, aber selten dringen sie vom verbrauchenden Arbeiter bis zur maßgebenden Stelle durch, so daß durchgreifende Abhilfe geschaffen werden könnte. Die maßgebenden Stellen sind mit wichtigeren Aufgaben beschäftigt und mit einem einmaligen Donnerwetter ist die Sache nicht gelöst. Es kann nur das der wissenschaftlichen Betriebführung eigentümliche Verfahren der allergenauesten Beachtung jeder Einzelheit helfen.

Wirtschaftlich noch wichtiger als alles Vorstehende sind die schädlichen Folgen, die durch Verwendung s c h l e c h t e r H i l f s s t o f f e entstehen. Wir alle haben schon Betriebstillstände an unsern Maschinen gehabt dadurch, daß die Lager infolge schlechten Schmieröls gefressen hatten. Der Betriebsleiter in einer Textilfabrik erzählte mir, daß er in einem Saal monatelang immer wieder Betriebstörungen hatte, weil in einer Heizanlage schlechte Dichtungen verwandt worden waren. Mangelhafte Verpackungsstoffe haben schon viele an sich gute Ware verderben lassen. Kurz, die Störungen im eigenen Betrieb und die Schädigungen unsrer Abnehmer, die durch die Verwendung schlechter Hilfsstoffe verursacht waren, haben uns allen schon großen Schaden gebracht. Diese Schäden sind noch, wollen wir die wirtschaftliche Bedeutung der Hilfsstoffe kennzeichnen, den reinen Einkaufskosten hinzuzuzählen, und es erhellt dann ohne weiteres, daß die Aufgabe, auch die Hilfsstoffe sparsam zu bewirtschaften, wohl unsere Mühe lohnt.

3. Unsere Aufgabe.

Zur Bewirtschaftung gehören Einkauf, Lagerung und Verwendung; wollen wir dies alles zweckmäßig wählen, so müssen wir ausgehen von den Eigenschaften der betreffenden Stoffe. Hier eben liegt die Schwierigkeit und der Grund, warum bisher auf dem Gebiete so oft gefehlt wurde. Die Kenntnis der unendlich vielen Stoffe ist nicht Allgemeingut. Der Ingenieur hat von den meisten Stoffen überhaupt keine Ahnung, der Einkäufer nicht viel mehr und selbst der Materialverwalter kann unmöglich in all den Stoffen Fachmann sein. Die Werke haben natürlich Sachverständige für die Hauptrohstoffe, die sie verarbeiten, aber den Mann oder die Männer, die zugleich Leder, Farben und Holz und all die vielen andern Stoffe sachlich beurteilen können, kann ein Werk garnicht haben. Das Gebiet ist viel zu groß und zu vielseitig.

Es kommt noch hinzu, daß auf den meisten Gebieten die streng sachliche Behandlung, die wir Techniker sonst gewöhnt sind, noch nicht allgemein üblich ist, und daß die zahlenmäßige Erfassung der Gütewerte oft auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten stößt.

Zweck meines Vortrages ist nun der, vorzuschlagen: e i n e O r g a n i s a t i o n z u s c h a f f e n, d i e d i e K e n n t n i s d e r H i l f s s t o f f e w e i t e n K r e i s e n i n e i n f a c h e r F o r m ü b e r m i t t e l t u n d V o r s c h r i f t e n f ü r d i e L i e f e r u n g u n d G ü t e p r ü f u n g a u f s t e l l t, mit denen dann jeder Betrieb arbeiten kann.

In der Organisation sollten Fachleute für alle in Betracht kommenden Stoffe mitarbeiten, und diese sollten ihre Ratschläge etwa in Form von Normalbedingungen niederlegen. Dabei müßte durch die Geschäftstelle der Organisation die Einheitlichkeit der Form und der Richtung all der Arbeiten gewahrt bleiben, wie wir es in so mustergültiger Weise beim Normenausschuß erlebt haben.

Als Träger der Organisation denke ich in erster Linie an unsre Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, und ich hoffe, daß uns auch der Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung, der ja in der hier skizzierten Richtung schon allerhand gearbeitet hat, zur Seite stehen wird. Ich gebe mich auch der Hoffnung hin, daß die Mitarbeit aus allen Kreisen der Erzeuger wie der Verbraucher, sobald wir es richtig angefangen haben, nicht weniger eifrig sein wird, als beim Normenausschuß; haben doch die reellen Erzeuger und Händler das allergrößte Interesse daran, sich vor dem unlauteren Wettbewerb zu schützen. Strenge und verständig ausgearbeitete Vorschriften werden stets dem guten Erzeugnis nützen und so den Fachleuten für ihre Mitarbeit an unsern Vorschriften den Lohn erstatten. Das Interesse der Verbraucher aber liegt so offenkundig auf der Hand, daß ihre Mitarbeit wohl selbstverständlich sein wird.

Übrigens liegen schon recht vielseitige und umfangreiche Vorarbeiten vor. Des AwF habe ich bereits gedacht. Manche Firmen haben für Hilfsstoffe schon recht gute Vorschriften, und natürlich liegen sehr reiche Erfahrungen und eingehende Arbeiten vor bei den Firmen, die die betreffenden Stoffe als hauptsächliche Rohstoffe verbrauchen. Auch liegen schon Gemeinschaftsarbeiten vor, wie z. B. in der Hüttenindustrie die der „Gemeinschaftsstelle für Schmiermittel". Schließlich haben natürlich die Reichs- und Staatsbehörden dasselbe Bedürfnis schon längst empfunden. Das Heer wie die Marine, die Post wie die Eisenbahn haben ihre vieljährigen Erfahrungen in wiederholt neu bearbeiteten Vorschriften niedergelegt. Auf ihre Teilnahme an unsern Arbeiten wird besonderer Wert zu legen sein.

Die zu schaffende Organisation müßte also „H i l f s s t o f f n o r m e n" ausarbeiten und den Betrieben bliebe es dann überlassen, die Normen zu übernehmen, soweit sie sie brauchen.

4. Hilfsstoffnormen.

a) Gemeinverständliche Darstellung der Eigenschaften der Hilfsstoffe.

Ausgehend von der Herstellung der Stoffe und den verwandten Rohstoffen, die kurz zu skizzieren wären, müßten die Eigenschaften, die Behandlung und Verwendung der einzelnen Stoffe erläutert werden. Zweckmäßigerweise wären dabei ähnliche Stoffe zusammenzufassen, und es wäre eine Anleitung zu geben hinsichtlich des Anschaffungspreises, des Gebrauchwertes, der Verwendungskosten und sonstiger wichtiger Gesichtspunkte, die es dem Laien in gewöhnlichen Fällen ermöglichen würden, für sich das Richtige auszuwählen. Bei dieser Darstellung können natürlich nicht genaue Preise gegeben werden, es können auch keine sehr eingehenden Ausführungen gemacht werden, sondern es wird genügen, den Verbraucher nur über das Gröbste zu unterrichten. Unsre Normen sollen ja nicht zur Ausbildung von Fachleuten dienen, sondern nur zur Unterstützung der Laien.

Großer Wert wäre zu legen auf die Wahl ganz genauer Bezeichnungen der einzelnen Stoffe und der verschiedenen Gütegrade. Es muß gründlich aufgeräumt werden mit der Bezeichnung „Ia", „ff.", usw., und man darf sich nicht weigern, ein Erzeugnis mit Güte III zu bezeichnen.

b) Technische Lieferbedingungen für die Hilfsstoffe.

Mit der Benennung allein kann aber die Ware meist nicht auch der Güte nach restlos bestimmt werden. Hinzuzufügen sind noch Gütevorschriften, wie sie uns beim Roheisen in der chemischen Analyse, beim Stahl in den Zahlen für Festigkeit und Dehnung heute zur Selbstverständlichkeit geworden sind. Bei den Hilfsstoffen sind sie meist noch unbekannt und werden selten benutzt. Es wird auch sehr schwer halten, die technischen Lieferbedingungen stets in genauen Zahlen auszudrücken. Bei Stoffen, die sich für die chemische Untersuchung eignen, geht dies noch am ersten. Bei vielen Stoffen aber kann die Güte nur durch Worte und Angabe des Verwendungszwecks bezeichnet werden. Aber auch dieses wird uns zusammen mit der unter c) angeführten Güteprüfung einer strengen Behandlung der Aufgabe wesentlich näher bringen, als wir heute sind.

c) Güteprüfungen für die Hilfsstoffe.

Ihr Zweck ist es, die gelieferten Stoffe daraufhin zu prüfen, ob die vorgeschriebenen Lieferbedingungen eingehalten sind. Dabei werden wir für fast jeden Stoff zweierlei Prüfungen vorsehen müssen: eine möglichst strenge nach wissenschaftlichen Verfahren, vielleicht im chemischen Laboratorium, die anzuwenden ist im Betriebe großer Firmen beim Einkauf großer Mengen; hierhin gehören z. B. die Untersuchungsverfahren, die die Physikalisch-Technische Reichsanstalt bei Papier anwendet. Die andre Prüfung grob handwerksmäßig für den täglichen Gebrauch in mittleren und kleinen Betrieben und auch in Großbetrieben für kleinere Mengen; ein sehr gutes Beispiel hierfür ist der Papier-Knitterversuch, den jetzt der AwF empfiehlt.

Beide Prüfungen sollen möglichst ohne Fachkenntnisse vorgenommen werden können, die der ersten Art von einem allgemein gebildeten Wissenschaftler, die der zweiten von jedem Materialverwalter, Betriebsingenieur oder Einkäufer. Das Ergebnis der Prüfungen sollte so eindeutig klar sein, daß danach die Frage der Annahme oder Annahmeverweigerung entschieden werden kann.

d) Pflegliche Behandlung der Hilfsstoffe.

Hier wären wichtige Regeln zu geben, wie die Stoffe zu schützen sind vor dem Verderben, vor Verlust, vor Feuer usw. Wenn diese Aufgabe in den meisten Fällen auch sehr einfach ist, so darf ich doch erinnern z. B. an die Explosionsgefahr bei Gasflaschen.

e) Verwendungsvorschriften für die Hilfsstoffe.

Auch diese werden oft entbehrt werden können, oft ist aber der Verwender kein Fachmann, und eine einfache Vorschrift würde uns vor Verschwendung und manchem Fehlschlag bewahren.

Es ist klar, daß z. B. die Verwendungsvorschriften und auch manche der übrigen von dem Stoff im einzelnen abhängen, davon, welcher Lieferant den Stoff geliefert hat, doch dürften immer noch allgemeine Vorschriften Ordnung und Einfachheit bringen in das heute grause Durcheinander und die heutige Unsicherheit.

f) Abfallverwertung.

Kommt sie auch bei vielen der Hilfsstoffe nicht in Frage, so ist sie doch bei andern doppelt wichtig.

Die Aufstellung all dieser Vorschriften wird unsrer Organisation sehr viel Mühe verursachen und Jahre erfordern, sie wird aber Erfolg haben, wenn die besten Kräfte daran mitarbeiten, und sie wird dann auch viel Segen stiften. Die Arbeit ist einmal aufzuwenden, der Nutzen wird dauernd sein. Das ganze Verfahren wird zudem Schule machen, und es werden sich auch die Fabrikanten von Stoffen, die in den Normen nicht behandelt sind, der Form des Ausdruckes wie der Strenge der Denkweise anfügen, und wir werden so auch in das von uns nicht behandelte Gebiet erhöhte Wirtschaftlichkeit hineinbringen.

5. Beispiel für Hilfsstoffnormen.

Um an Beispielen zu erläutern, wie wir uns die Stoffnormen denken, haben wir in Hannover solche für einige Stoffe entworfen. Diese Entwürfe machen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da uns die Mittel und auch die Kräfte für eine erschöpfende Durcharbeitung fehlten. Immerhin möge das folgende Beispiel ein Bild für die Form geben, die wir uns gedacht haben, und für die Fragen, die bei der Bearbeitung auftreten.

Beispiel: Normen für Putzwolle.

a) Eigenschaften der Putzwolle.

Putzwolle wird zum Reinigen von Maschinen, Werkzeugen und Werkstücken benutzt, insbesondere zum Abwischen von Öl und Fett.

Für ähnliche Zwecke gibt es noch Putztücher und Putzlappen. Die Putztücher kosten etwa sechsmal so viel wie die Putzwolle, die Putzlappen sind etwas billiger als diese.

Die Putzwolle wird im allgemeinen nur einmal benutzt, die Putztücher dagegen werden gereinigt und wiederholt verwandt. Die Putzlappen eignen sich im allgemeinen nur für untergeordnete Zwecke, insbesondere zum Abwischen von Wasser. Im übrigen hängt die Wahl zwischen Putzwolle, Putzlappen und Putztüchern von den Verhältnissen des Betriebes und den jeweiligen Preisverhältnissen ab.

Die Putzwolle wird fast ausschließlich aus Baumwollgarnabfällen hergestellt, die dann jedoch fast stets mehr oder weniger mit anderen, minderwertigen Stoffen vermischt werden. Gute Putzwolle soll fast ausschließlich aus langen, festen, baumwollenen Fäden bestehen. Baumwolle ist nötig, damit die Putzwolle gut saugfähig ist. Die Fäden müssen lang sein, damit sie nicht herausfallen und nicht so leicht an der Maschine hängen bleiben. Fest müssen die Fäden sein, damit sie nicht so leicht zerreißen und herunterfallen. Vorgarnfäden sollen daher nicht in größeren Mengen in der Putzwolle enthalten sein. Sehr wichtig ist es, darauf zu achten, daß die Putzwolle nicht größere Mengen einzelner Fasern enthält (Scherhaare), da diese nur die Maschinen verschmutzen würden. In den meisten Fällen wird die Putzwolle mit Jute gestreckt. Dies ist jedoch wenig zu empfehlen, da die Jute nicht genügend saugfähig und außerdem sehr hart ist. Daß Verunreinigungen durch Sand und Schmutz auszuschließen sind, da sie auf die Maschinen verheerend wirken, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung. Aber auch schon des Gewichtes und damit des Preises wegen wird man gut tun, auf solche und andre Fremdkörper (Hülsen) zu achten. Natürlich muß die Putzwolle rein sein, d. h. sie darf nicht schmutzig oder ölig sein. Das Wichtigste an der Putzwolle ist, daß sie gut saugfähig ist. Aus diesem Grunde soll sie auch nicht scharf gezwirnt, ferner auch nicht stark geschlichtet (geleimt) sein. Im Handel unterscheidet man weiße und bunte Putzwolle. Die weiße Putzwolle wird nur für Sonderzwecke gebraucht. Die Farbe der bunten ist natürlich gleichgültig, doch wird es sich in manchen Fällen empfehlen, darauf zu achten, daß sie nicht stark abfärbt. Da die Putzwolle nach Gewicht gehandelt wird, hat der Verkäufer ein natürliches Interesse daran, daß sie möglichst schwer ist. Man wird daher gut tun, einen bestimmten höchsten Feuchtigkeitsgehalt vorzuschreiben. Prüfen kann man diesen im Laboratorium. Erscheint eine solche Prüfung zu umständlich, so kann man sich doch wenigstens ungefähr davon überzeugen, daß die Putzwolle nicht gerade künstlich bewässert ist, indem man eine bestimmte Menge im warmen Zimmer ausbreitet und nach Ablauf einiger Tage feststellt, ob sie wesentlich an Gewicht verloren hat.

b) Technische Lieferbedingungen für die Putzwolle.

Die bunte Putzwolle muß folgenden Bedingungen genügen:

1) Die Putzwolle muß aus langen, festen, baumwollenen Fäden bestehen.
   α) Die Putzwolle darf keine Beimengungen enthalten, die aus einzelnen Fasern bestehen (Scherhaare); ferner keine zerrissenen Lumpen.
   β) Die Putzwolle darf keine Jute enthalten.
   γ) Die Putzwolle darf nicht größere Mengen Vorgarnfäden oder ähnliche, wenig gedrehte Fäden enthalten.
   δ) Die Putzwolle darf keine kurzen Abfallenden enthalten.
2) Die Putzwolle muß rein sein.
   α) Die Putzwolle darf nicht gebraucht, d. h. nicht schmutzig und nicht ölig sein.
   β) Die Putzwolle darf keine Fremdkörper enthalten, keinen Sand, keinen Staub, keine Hülsen, keine Nadeln.
3) Die Putzwolle muß saugfähig sein.
   α) Die Putzwolle darf nicht scharf gezwirnt sein.
   β) Die Putzwolle darf nicht stark geschlichtet sein.
   γ) Die Putzwolle darf nicht stark verfilzt sein.
4) Die Putzwolle darf nicht stark abfärben.
5) Die Putzwolle muß luftrocken sein, sie darf nicht mehr als 7 vH Feuchtigkeit enthalten.

c) Güteprüfung für die Putzwolle.

Punkt 1: durch Inaugenscheinnahme.
Punkt 2: durch Inaugenscheinnahme.
Punkt 3: durch Inaugenscheinnahme und praktischen Versuch.
Punkt 4: durch praktischen Versuch.
Punkt 5: Eine größere Menge der Putzwolle (mindestens 2 kg) ist in einem warmen Zimmer, jedoch nicht in unmittelbarer Nähe der Heizung, auszubreiten und 3 Tage lang liegen zu lassen. Die Putzwolle darf in dieser Zeit nicht mehr als 2 vH an Gewicht verlieren.

d) Pflegliche Behandlung der Putzwolle.

Die Putzwolle ist in einem trockenen Raum aufzubewahren und vor Nässe zu schützen. Naß gewordene Putzwolle muß ausgebreitet und getrocknet werden, da für diese die Gefahr der Selbstentzündung besteht. Die Feuergefährlichkeit der Putzwolle ist besonders zu beachten. Es empfiehlt sich daher die Unterbringung in gemauerten, mit eisernen Deckeln versehenen Bunkern.

e) Verwendungsvorschrift für die Putzwolle.

Die Putzwolle soll nur dort verwendet werden, wo es sich um das Abwischen von Öl und Fett handelt. Wasser soll nicht damit abgewischt werden. Hierfür sollen Putzlappen Verwendung finden.

f) Abfallverwertung.

Ein Reinigen und Wiederverwenden der Putzwolle empfiehlt sich im allgemeinen nicht, da die Putzwolle beim Waschen zu sehr filzt und nachher zu wenig saugfähig ist. Außerdem ist die Feuergefährlichkeit öliger Putzwolle außerordentlich hoch, so daß es besser sein dürfte, sie sogleich zu verbrennen.

6. Bewirtschaftung der Hilfsstoffe in den Betrieben.

Diese ist nun eine verhältnismäßig einfache Aufgabe. Nachdem in den Normen die Grundlagen geschaffen sind, kann sie mit bekannten Mitteln gelöst werden.

a) Katalog. Die Fabrikleitung wird zunächst auf Grund der gemeinfaßlichen Darstellung und nach strenger Feststellung der tatsächlichen Bedürfnisse die Hilfsstoffe festlegen, die im Werk verwandt werden sollen. Sie wird alle die Hilfsstoffe in einem Katalog zusammenstellen lassen, der in allen Stellen des Werkes zur Benutzung ausliegt. In diesem Katalog werden die Stoffe nach Benennung und nach Lagernummer oder sonst irgendwie zu kennzeichnen sein.

b) Das Magazin erhält Einrichtungen, die es gestatten, die Hilfsstoffe entsprechend den Normen für pflegliche Behandlung anzunehmen, zu lagern und auszugeben. Es erhält Regale mit Fächern, erhält Kästen, Fässer und sonstige Behälter, erhält trockne und feuchte, helle und dunkle Räume, Abteilungen, die besonders feuersicher und besonders diebstahlsicher angelegt sind. Es wird an geeigneter Stelle des Werks

angelegt und wird nötigenfalls durch besondre, über das ganze Werk verstreute Filialen ergänzt, die den Verbrauchern den Weg zur Ausgabestelle abkürzen.

c) Die Buchhaltung ist einzurichten nach den Grundsätzen jeder Magazinbuchhaltung. Sie führt eine Verbrauchstatistik, legt auf Grund derselben Vorschriften fest für die Höhe der Bestände, verfolgt Zugang und Abgang, sorgt für rechtzeitige Neubeschaffung, gibt die Zahlen für die Monatsinventur und die Unterlagen für die Verteilung des Verbrauches auf die Verbrauchsorte für die Zwecke der Betriebsbuchhaltung.

d) Der Einkauf ist nun dank den Normen ein klares Geschäft. Zufälligkeiten, Betrügereien und Schiebungen können jetzt zuverlässig ausgeschaltet werden. Die Bestellung der Hilfsstoffe erfolgt auf Grund der Bedarfsanmeldung in der Buchhaltung. Dem Lieferanten werden die Lieferbedingungen nach den Normen vorgeschrieben. Hiermit hat nicht etwa die Aufgabe des Einkäufers an Verantwortlichkeit und Interesse verloren, vielmehr hat er nunmehr erst zuverlässige Unterlagen für seine Arbeit, und es wird seine Aufgabe sein, nicht stumpfsinnig nach dem Buchstaben, sondern mit hellen Augen das Geschäft zum Vorteil seiner Firma zu führen, insbesondere wird er unterscheiden lernen müssen, welche Lieferer den Normen entsprechen und sich als zuverlässig erweisen. Weiterhin muß er selbständig denken insofern, als er gelegentlich Änderungen in der Vorrathaltung vorschlägt, sei es, daß zeitweilige Preisschwankungen es ratsam erscheinen lassen, die Menge der Vorräte in einzelnen Stoffen zu steigern oder herabzusetzen, sei es, daß solche Preisschwankungen es empfehlenswert machen, gewisse Stoffe aus dem Katalog ganz auszuschalten oder andre dafür hineinzusetzen.

e) Die Warenannahme. Auch sie hat nun dank den Normen eine sichere Unterlage für ihre Arbeiten. Sie muß die Waren nach Menge und Güte auf Grund der Prüfungsnormen abnehmen, und ihr Befund bietet die Grundlage für die Bezahlung der Rechnung des Lieferanten oder für Beschwerden über mangelhafte Lieferung. Wie beim Einkauf, so ist auch bei der Warenannahme die Tätigkeit nun durch die Normen nicht etwa zu einer rein mechanischen herabgesetzt, sondern es wird immer noch von der Verantwortlichkeit, Gewissenhaftigkeit und Intelligenz der betreffenden Person abhängen, ob die Prüfung mit Verständnis und mit Strenge vorgenommen wird. Der sehr wesentliche Unterschied gegenüber dem heutigen Zustand beruht nur darin, daß der Abnahmebeamte nun Unterlagen für seine Prüftätigkeit hat, nach denen er sich richten kann und die auch vom Lieferanten nicht angezweifelt werden können. Erst nach Gutbefund durch die Warenannahme erfolgt die Einlagerung des Stoffes im Magazin.

f) Die Ausgabe bietet keine Besonderheiten. Es wird sich empfehlen, für die verschiedenen Stoffe besonders geeignete Gefäße zu führen, die Verteilung in den Werkstätten durch bestimmte Personen und zu bestimmten Zeiten vornehmen zu lassen und diese Personen für Verluste verantwortlich zu machen. Bei wertvollen Stoffen kann es sich empfehlen, die Ausgabemenge nach dem Verwendungszweck jedes einzelne Mal im voraus festzulegen.

g) Die Verwendung erfolgt nun nach den Normen. Da die Stoffe jetzt in einwandfreier Güte angeliefert werden, kann auch vom Arbeiter verlangt werden, daß er ein einwandfreies Erzeugnis liefert. Die Sparsamkeit in der Verwendung kann noch besonders gefördert werden durch Prämien, die den aufsichtführenden Organen zugestanden werden, und die ausgerechnet werden nach den Angaben der Betriebsunkosten-Buchführung, die eben genau nachweist, wieviel Schmieröl beispielsweise die einzelne Abteilung im Monat verbraucht hat. Ob die einzelne Fabrikleitung sich für die Gewährung von Prämien entschließt, ist eine zweite Sache, aber jedenfalls stehen ihr die Unterlagen hierfür jetzt zur Verfügung.

h) Reste und Abfälle. Reste sind natürlich ans Magazin zurückzuliefern und in der Buchführung der betreffenden Abteilung wieder gutzubringen. Vom Einzelfall wird es abhängen, ob das Magazin die Reste zur Wiederausgabe aufbewahrt, wie z. B. Farbe, ob es unbrauchbar gewordene Stoffe, wie Putzwolle wieder aufarbeiten läßt, oder ob es nicht mehr verwendbare Abfälle für andre Zwecke sammelt, z. B. Lederabfälle. Jedenfalls ist nichts bei uns wertlos, und die Normen geben Anleitung für die Möglichkeit der Verwendung der Reste.

7. Der Erfolg.

7. Der Erfolg einer derart organisierten Bewirtschaftung der Hilfsstoffe ist höchst erfreulich. Billigkeit im Einkauf, Sauberkeit in der Aufbewahrung, Sparsamkeit in der Verwendung sind der Dank für die Mühen der einmaligen Einrichtung. Der Betrieb läuft störungsfrei. Das Erzeugnis gewinnt an Zuverlässigkeit, und der Abnehmer ist zufriedengestellt. Das alles ergibt sich sehr einfach, nachdem einmal die Vorbedingungen gegeben, nämlich die vorgeschlagenen Normen aufgestellt sind. Die Durchführung der Bewirtschaftung im Betrieb ist gegenüber der Aufgabe der Aufstellung der Normen nachher sehr einfach.

Zusammenfassung.

Ich stelle also im Namen der A. D. B. Hannover den Antrag, eine besondere Organisation zu schaffen, die es uns durch die Aufstellung von Stoffnormen ermöglicht, eine sparsame Bewirtschaftung der Hilfsstoffe in unsern Betrieben durchzuführen. Die Arbeit der Aufstellung dieser Normen darf nicht unterschätzt werden. Das Material ist an sich sehr spröde, die genaue Kenntnis heute in weitesten Kreisen sehr gering. Sie ist aber lohnend. In einer Zeit, wo die befähigsten Konstrukteure sich bemühen, in einer Kraftanlage ein paar Gramm Kohle zu sparen, wo die tüchtigsten Betriebsingenieure große Aufwendung an Zeit und Geld darauf verwenden, einen Akkord um ein paar Sekunden zu drücken, wo die Fabrikleitungen unendliche Mühe aufwenden, um beim Verkauf ihrer Erzeugnisse oder beim Einkauf ihres Bedarfes ein paar Mark herauszuholen, in dieser Zeit bietet die Bearbeitung der Hilfsstoffe ein recht dankbares Gebiet für die Hebung der Wirtschaftlichkeit.

Mit der vorgeschlagenen Normung machen wir nicht nur unsere einzelnen Betriebe wirtschaftlicher, sondern, was mehr ist, wir dienen unsrer ganzen Industrie, da wir ja das ganze Gebiet erfassen wollen, und wir arbeiten damit im heutigen Wirtschaftskampf für unser Vaterland.

Und was uns daneben die Arbeit zur Freude macht, ist, daß wir das Gebiet der Hilfsstoffe in dieser Behandlung zu einem solchen umbilden, das der Beschäftigung eines Ingenieurs würdig ist. Wir stellen an die Stelle der Schwätzerei das Wissen, an die Stelle der Oberflächlichkeit die sachlich ernste Leistung. [A 424]

BRITISCHER FLUGZEUGBAU.

Während des Jahres 1923 ist der Flugzeugbau in Großbritannien weiter rüstig fortgeschritten. Einer Übersicht der Zeitschrift „The Engineer" vom 4. Januar 1924 entnehmen wir folgende bemerkenswerte Einzelheiten:

Für das britische Heer sind einige Mannschaftsflugzeuge von der sogenannten „Awana"-Bauart durch die W. G. Armstrong-Whitworth Aircraft, Limited, geliefert worden. Diese haben zwei 450 PS-Motoren mit Wasserkühlung; ihr Gewicht bei Vollast beträgt rd. 8 t. Eine für Großbritannien neue Bauart stellt der Doppeldecker „Siskin" dar, dessen Flügel ganz aus Stahl hergestellt sind. „Siskin" und eine andre Bauart „Wolf" haben Motoren mit Luftkühlung und sternförmig angeordneten Zylindern. Über diese für das britische Heer bestimmten Kriegsflugzeuge werden Einzelheiten aus militärischen Gründen nicht angegeben.

Auch die Bristol Aeroplane Co., Limited, baut Kriegsflugzeuge. Ihre Kampfflugzeug-Bauart ist der typische Zweisitzer mit neun sternförmig angeordneten luftgekühlten Motoren von insgesamt 400 PS. Seine Geschwindigkeit beträgt rd. 200 km/h in 3000 m Höhe, die größte von ihm erreichte Höhe 6850 m. Eines dieser Flugzeuge flog in 7¾ h von Croydon nach Gothenburg.

Eine weitere Bauart derselben Firma stellt das Übungsflugzeug „Lucifer" von 100 PS Leistung dar. Hinter dem Motor befindet sich ein feuersicheres Schott aus Eisenblech, ebenso sind die Steuerverbindungen feuersicher gelagert. Die oberen und unteren Flügel sind einander vollkommen gleich und daher vertauschbar. Das Gesamtgewicht des Flugzeuges beträgt 550 kg, die Spannweite rd. 9,4 m.

Die Fairy Aviatic Co., die auch für Japan, Schweden, Australien und Portugal Flugzeuge baut, hat zwei neue Bauarten für den Heeresdienst geschaffen. Die „Fawn"-Bauart ist ein Erkundungs- und Bombenabwurf-Flugzeug. Es zeichnet sich durch eine besondere Form des Unterbaues aus, der starke Erschütterungen beim Landen leicht aufnimmt.

Des weiteren ist ein neues Wasserflugzeug von der gleichen Firma für Kampfzwecke erbaut. Es kann vom Deck beliebiger Schiffe aus aufsteigen. Der Unterbau ist entweder der gleiche wie bei der „Fawn"-Bauart, oder er weist eine besondere Schwimmvorrichtung auf. Einzelheiten über Schnelligkeit, Abmessungen usw. werden streng geheim gehalten. Für die Verstrebungen werden Stahlrohre ohne jede Schweißung benutzt.

Von Flugzeugen, die noch nicht über den Stand der Versuche hinausgekommen sind, sei erwähnt das Riesenflugboot „Atalanta" mit vier Rolls-Royce-Motoren und rd. 15 t Gesamtgewicht. [M 403] Sd.

WIRTSCHAFT UND WISSENSCHAFT IM TECHNISCHEN BETRIEB.

BETRACHTUNGEN AUS DER PERSPEKTIVE DES WÄRMEINGENIEURS.

Von Dr.-Ing. K. Rummel, Düsseldorf.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure.

Gegensatz zwischen Theorie und Praxis. Wege zur harmonischen Zusammenfassung. Die Wärmestellen, die nur eine besondere Form allgemeiner betriebswirtschaftlicher und meßtechnischer Werkorganisationen sind, haben in dieser Beziehung bereits wertvolle Brücken geschlagen; die geistige Einstellung des Betriebsmannes, des Wissenschaftlers, des Kaufmanns und der obersten Werkleitung sollte viel mehr als bisher auf die lebensvolle Verbindung von Wirtschaft, Wissenschaft und Technik richten.

Zwei Eigenschaften befähigen gerade den deutschen Stammescharakter zu technischen Höchstleistungen: von klarem Wirklichkeitssinn durchdrungene Tatkraft und von idealer Begeisterung beflügelter Forschergeist. Aber nur wenn beide überall mit gegenseitigem Verständnis in gemeinsamer Arbeit wirkend eine vollkommene Ehe eingehen, wird dieses Höchstmaß der Leistung erreicht; wir mögen daher zusehen, daß Wissenschaft, Wirtschaft und Technik mit vollem harmonischen Dreiklang im Rhythmus unserer Industrie ertönen, damit nicht ein zielbewußteres Ausland besser als wir die Früchte einer lebendigen Wissenschaft nutzbar macht und die wirtschaftlichen Zusammenhänge der Betriebe weitsichtiger erkennt als unser Volk, das neben jenen glänzenden Eigenschaften auch den Hang zum ungerichteten zweckfernen Grübeln und zur sich abschließenden Eigenbrödelei in sich trägt. Dieser verführt uns zum Allesselbstkönnenwollen, zur Überschätzung des einzelnen vor dem ganzen und führt in der Werkstatt zu einem üblen Betriebspartikularismus, jener zu selbstgenügsamem Stolz auf die Erkenntnis der Wahrheit, statt daß wir sie in unserer Volkswirtschaft auswerten. Treffend wird dies gekennzeichnet durch unsre Anerkennung der „Leistung", des Aufwandes an Mühe und Arbeit an sich, während z. B. der Amerikaner nicht diese Mühe, sondern nur den „Erfolg" wertet.

Wissenschaft und Praxis.

So haben wir es in unserer Technik mitunter zu den erwähnten Höchstleistungen gebracht; an andern Stellen liegt Ödland. Besser als lange Worte werden einige Beispiele aus der Wärmewirtschaft erklären, was gemeint ist.

Unsere Dampfturbinen — glänzende Kinder jener Ehe von Wirtschaft und Wissenschaft — stehen auf oberster Stufe. Beim Abnahmeversuche prüfen wir mit feinsten Mitteln die scharfen Garantien der Vollast, Dreiviertel- und Halblast auf Dezimalen des Dampfverbrauches; daneben aber steht im Betriebe der Dampfkessel, aufgebaut auf „Faust"-Regeln, ein bäuerischer Geselle, das Erzeugnis einer Empirie, die weit ab liegt von der wissenschaftlichen Feinheit unserer hochentwickelten Thermodynamik, nach rohen „Normen" — man denke an den Begriff des Restverlustes — auf seine Leistung geprüft; wieviele Betriebsingenieure haben die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Belastung bei einem Dampfkessel untersucht oder auch nur eine Garantie des Wirkungsgrades bei verschiedenen Belastungen verlangt? In der wirtschaftlichen Praxis freut sich der Techniker der Höhe des Dampfmaschinen-Wirkungsgrades und vergißt, daß Kessel, Leitung und Turbine eine einzige Einheit bilden, vergißt weiterhin, daß einfachste technische und Verwaltungsmaßnahmen im Ausgleich von Energie, Angebot und Nachfrage das Zehnfache und mehr einbringen als das schönste Indikatordiagramm oder selbst der beste CO_2-Gehalt, oder das Zehntel oder Hundertstel Kilogramm Dampfverbrauch für die Kilowattstunde, das durch feinste konstruktive Verbesserung oder höchste Wartung der Maschine eingebracht werden kann. So mangelt es auf der einen Seite an der notwendigsten Entwicklung der Wissenschaft, auf der andern an praktischer Einsicht.

Ein noch krasseres Beispiel einseitigen, an wirtschaftliche Erfordernisse nicht angepaßten Betriebes stammt aus dem Hochofen. Dort ist es eine wichtige Aufgabe, die Gichtgase restlos im übrigen Werksbetriebe zu verarbeiten; dies ist jedoch der auftretenden Spitzen wegen schwierig, und so entstehen starke Druckschwankungen des Gases. Die Folge ist eine unvollkommene Verbrennung in den Feuerungen, es sei denn, daß ganz besondere Maßnahmen getroffen werden. Nun hilft man sich auf manchem Hochofenwerk an den wichtigen und großen Verbrauchern der Winderhitzer dadurch, daß man in die Leitung zu den Winderhitzern Druckregler ohne Stufeneinstellung einschaltet, die den Gasdruck durch Abdrosseln der Spitzen auf gleichbleibender Höhe halten. Die Verbrennung an den Winderhitzern wird vorzüglich, der Eigenverbrauch des Hochofens an Gas geht stark zurück und der Betriebsleiter ist stolz auf seine Maßnahme. Und doch hat er nichts weiter getan, als daß er die ihm unangenehmen Schwankungen, für deren Aufnahmen gerade die Winderhitzer vortrefflich geeignet sind — da sie ihrem inneren Wesen nach Speicher darstellen —, aus dem Hochofenbetrieb entfernt und auf das übrige Leitungsnetz geworfen hat, wo sie nun verstärkt zum Ausdruck kommen. Mag doch der andre Betrieb sehen, wie er mit ihnen fertig wird! Gewonnen ist für das ganze Werk gar nichts, und die Verbilligung, auf die der Hochöfner so stolz ist, ist lediglich eine Täuschung, verursacht durch seine mangelnde wirtschaftliche Einsicht. So sorgt in vielen Betrieben ein jeder zunächst für sich, statt in erster Linie das Wohl des ganzen Werkes zu fördern, und es ist unendlich schwer, dem Hochöfner begreiflich zu machen, daß jenes Gichtgas, das in seinen Hochöfen erzeugt wird, damit nicht auch „sein" Gas geworden ist, mit dem er nach Gutdünken schalten kann.

Wie zwiespältig anderseits die Wissenschaft auf den verschiedenen Gebieten der Industrie ausgewertet wird, ergibt sich z. B. auch daraus, daß die Elektrotechnik und die groß-chemische Industrie in zielbewußter Forschung die Bedingungen geklärt und jede Erkenntnis ausgenutzt haben, während z. B. auf dem Gebiete der praktisch so wichtigen Wärmeleitung und Wärmestrahlung zwar viel geforscht worden, aber oft genug die Auswertung unterblieben ist. Hier war der Forscher zufrieden mit der Feststellung seines Ergebnisses. Mochte die Praxis selbst sehen, was sie damit anfangen konnte, mochte sie zusehen, wie sie die ihr unvertändliche wissenschaftliche Sprache gemeinverständlich übersetzte.

Wir wollen hier nicht die Gründe untersuchen, warum auf dem einen Gebiete die Nutzanwendung gezogen wurde, auf dem andern nicht. Es mag bei Elektrotechnik und Chemie der Geist hervorragender Männer die Belange erkannt und entwickelt haben, es mag der Zwang gewesen sein, daß die Elektrotechnik in ihrer Ungreifbarkeit zur mathematischen und versuchstechnischen Behandlung drängte, daß die Chemie mit ihrer Möglichkeit des Mikroexperimentes von selbst die wissenschaftlichen Wege des Laboratoriums wies; wir haben jedenfalls mit der Tatsache zu rechnen, daß auf andern reichen Gebieten industrieller Tätigkeit Wissenschaft und Praxis einander nicht verstehen.

Freiheit der Wissenschaft.

Die Fühlung, die hier gesucht werden muß, erstreckt sich bis auf den äußersten rechten Flügel der reinen Wissenschaft. Zwar steht selbst die Mehrzahl der Vertreter der reinen Wirtschaft auf dem Standpunkt, daß man die Freiheit der Wissenschaft unter allen Umständen anerkennen müsse. Es gibt aber auch Techniker, die, entsprechend ihrem Denken in gerichteten Größen, von der Wissenschaft eine gewisse Beherrschtheit gegenüber der ziellosen Freiheit des Schaffens verlangen. So wenig es eine „absolute" Freiheit gibt, so sehr gerade der Freieste sich selbst die stärkste Beschränkung auferlegt, so nachdrücklich dürfen wir vielleicht die Forderung stellen, daß die „freie" Wissenschaft ein Problem nicht nur aufgreift, weil es ihr interessant erscheint, weil nur die mathematische Formulierkunst oder die Filigrantechnik des Experimentes sie reizt. Wir in Deutschland können uns am wenigsten eine Wissenschaft leisten, die frei von Zucht und Rahmen nur sich selbst Zweck ist. Und wenn auch die Wissenschaft nie zur Dirne der Wirtschaft werden soll, so dürfen wir doch über dem strahlenden Gewande der „hohen herrlichen Göttin" nicht überheblich die tüchtige Kuh verachten, „die uns mit Butter versorgt".

Die Wissenschaft wird den rechten Weg gehen, wenn der Gelehrte mit beiden Füßen auf dem Boden lebendigen Lebens steht. Die Weltfernheit des lebensunbrauchbaren Wissenschaftlers gehört so wenig in den schärferen Zug unserer bewegten Zeit, wie die milde Scherz der sanft entschlafenen „Fliegenden Blätter", in deren Spalten er seinen Regenschirm stehen ließ. Der Gelehrte unserer Zeit darf sich auch nicht damit begnügen, eine Wahrheit gefunden zu haben, sondern muß ein wenig darüber

nachdenken, wie diese Wahrheit mit günstigem Wirkungsgrad zum Segen der Menschheit ausgewertet und in die Praxis umgesetzt werden kann, damit sie die grimme Not des Lebens erleichtert. Es genügt nicht, wenn in den wissenschaftlichen Archiven die Gesetze der Temperaturfelder ermittelt sind, deren mathematische Form der Techniker nicht in seine rohere Sprache übertragen kann. Sollen wir nicht im Kornfeld verhungern, so muß aus der Frucht der Wissenschaft der Teig geknetet und das Brot gebacken werden. Zu diesem Aufgabenkreis der Ausmünzung des wissenschaftlichen Goldes gehört es aber auch, daß die Wissenschaft sich nicht als aus der Flucht der Erscheinungen deduzierte Systematik damit begnügt, die Aufgabe so lange allen praktischen Beiwerks zu entkleiden, bis sie mathematisch behandelt werden kann; denn oft genug überlagern die vernachlässigten Randbedingungen das Grundgesetz bei der technischen Ausführung derart, daß die vereinfachende Voraussetzung eine ganz ungenügende Lösung ergibt. Als Beispiel hierfür eignet sich alles, was der Betriebsmann als „Theorie“ verachtet.

Ingenieur und Physiker.

Wie der Ingenieur nicht in den Fehler verfallen darf, „Erfinder“ sein zu wollen, sondern seine neuen Gedanken folgerichtig durchführen und über alle technischen Kinderkrankheiten und kaufmännischen Schwierigkeiten hinweg in wirtschaftliche Werte umsetzen muß, so sollte der Physiker nicht nur danach streben, möglichst schnell zur geliebten Rechnung zu kommen, sondern die Verhältnisse, wie sie in Wirklichkeit vorliegen, d. h. mit allen Nebenbedingungen und Nebeneinflüssen, genau studieren und schildern, die grundlegenden Annahmen seiner Rechnung unter klarer Hervorhebung aller Abweichungen von den technischen Verhältnissen festlegen und bei den Folgerungen, die er aus seinen Ergebnissen zieht, auch untersuchen, wie sie beeinflußt werden, wenn die Verhältnisse nicht so einfach liegen, wie er sie für die mathematische Behandlung zurechtgerückt hat.

Als ein Beispiel für viele, die auf allen Gebieten der Technik auf der Hand liegen, seien die in den letzten Jahren viel erwähnten Wa. Ostwaldschen Verbrennungsdreiecke genannt, die, obgleich ein treffliches Hilfsmittel einfacher graphischer Darstellung verwickelter Verhältnisse, bei dem Betriebsingenieur recht in Mißkredit geraten sind, weil sie angeblich mit dem Ergebnis der genaueren Analyse der Rauchgase nicht übereinstimmen. Beim Entwurf dieser Dreiecke wurde eben oft übersehen, daß für ihre Berechnung eine mittlere Brennstoffanalyse angenommen werden mußte, was für viele Fälle der Feuerungstechnik unzulässig ist, z. B. wenn gasreiche Kohle mit der Hand auf einem Rost verfeuert wird. Ferner wurde nicht beachtet, daß für die Schaubilder selektive oder kollektive Verbrennung angenommen ist, während oft, namentlich bei wasserstoffreichem Brennstoff (Braunkohle, Koksofengas), weder der Wasserstoff zuerst, noch alle brennbaren Gasbestandteile in proportionalen Anteilen verbrennen.

Würde der Wissenschaftler von vornherein so deutlich, daß es nicht überhört werden kann, sagen, unter welchen Bedingungen seine rechnerischen Ergebnisse nur gelten, so würde viel eher die souveräne Geringschätzung verschwinden, womit die Mehrzahl der Betriebsingenieure mit stark ausgeprägter Persönlichkeit heute noch in dem Professor den „Kerl, der spekuliert“, erblicken. Der Praktiker verachtet die Wissenschaft nur dann, wenn er mit ihr nichts anfangen kann. Die Schuld liegt bei beiden Teilen, wenn Wissenschaft und Wirtschaft hier in fremden Lauten aneinander vorbeireden. Sie liegt an mangelnder wissenschaftlicher Bildung des Betriebsmannes wie an mangelnder wirtschaftlicher Schulung des Gelehrten, an ungenügender Achtung und unzureichendem Verständnis für die mühevolle Zähigkeit, die der Ingenieur zur Durchführung der gemeinsamen Ziele aufbringt.

Physik und Technik.

Einen Ausgleich zwischen Physik und Technik zu schaffen, sollte der technische Physiker berufen sein; aber uns fehlt mehr der physikalische Techniker als der technische Physiker. Den Physiker umschließen zu eng die Mauern seines Arbeitszimmers oder Laboratoriums; er sollte mitten im Betrieb, mitten im wirtschaftlichen Leben stehen. Bei den Laboratorien unserer großen Eisenwerke, wie bei vielen Forschungsanstalten, z. B. den technischen Kaiser Wilhelm-Instituten, liegt der gleiche, durch die Art der Organisation begründete Nachteil vor, daß die Beamten bei allem guten Willen mitunter zu sehr Laboratoriums-Chemiker und -Physiker sind, statt Werkstätten-Ingenieure, die mit dem Fabrikationsgang verwachsen sind.

Die Hochschule hat hier die Aufgabe, zu vermitteln und dem durch Wirklichkeitssinn, Energie und körperliche Ausdauer zum späteren Betriebsleiter vorbestimmten Praktiker Methode und Nutzen der Wissenschaft geläufig zu machen, den mit Forschersinn begabten und versuchsgewandten Studenten aber auf die wirtschaftlichen Erfordernisse hinzuweisen, damit jene unheilvolle und abgrundtiefe Trennung der Geistesrichtungen überbrückt wird. In beiden Fällen ist es nicht die akademische Behandlung der Fragen, auf die es ankommt: nicht die Lehre von den sogenannten „Wirtschaftswissenschaften“ ist wichtig; denn so wenig ein Kind die deutsche Sprache aus einer strengen Grammatik lernen kann, so wenig kann man durch „wissenschaftliche“ Wirtschaftslehre beispielsweise die Imponderabilien erfassen, die bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Kohlenverschwelung gegenüber unmittelbarer Verfeuerung und Vergasung oder für die ziffernmäßige „Rentabilität“ eines Speichers zum Ausgleich von Schwankungen in der Belastung- und Brennstoffzufuhr in Betracht kommen, und in ähnlicher Weise ist die größte Fertigkeit im Lösen von Differentialgleichungen dem Ingenieur nicht von Nutzen, der nicht gelernt hat, den mathematischen Ansatz für die Differentialgleichung des Wärmedurchgangs durch eine Rohrwand zu finden. Deshalb gehört auch in die theoretische Vorlesung stets die Nutzanwendung auf die Wirtschaft, vorgetragen nicht von Gelehrten, sondern vom Ingenieur, vor allen Dingen vorgetragen vom Pädagogen.

Auch der technischen Literatur blüht dies Betätigungsfeld, auch sie muß die wissenschaftliche Speise verdaulich machen. Blätter wie die „Zeitschrift für angewandte Mechanik“ wollen zwar in diesem Sinne arbeiten, sie stellen aber an ihre Leser noch zu hohe Anforderungen, als daß der große Durchschnitt der Ingenieure sich für sie erwärmen könnte. Auch in ihnen sollte das wirtschaftliche Moment nicht fehlen. Es wird im übrigen bei uns nicht zu wenig geschrieben, sondern zu viel und oft zu schlecht. Auf dem Gebiet der Wärmewirtschaft ist es selbst dem Fachmann heute unmöglich, sich durch den gesamten literarischen Reisbrei zum gelobten Land der Erkenntnis durchzulesen. Nur das Beste sollte in wenigen Zeitschriften veröffentlicht werden und in einer Form, daß der Ingenieur neben einer allgemein bildenden Zeitschrift nur noch ein einziges Fachblatt seiner Spezialrichtung gründlich zu lesen brauchte. Da mancher tüchtige Ingenieur wohl etwas zu sagen hat, die literarische und pädagogische Form aber nicht beherrscht, so sollten die Schriftleitungen sich der mühevollen, kostspieligen Arbeit unterziehen, jede Veröffentlichung gründlicher durch- und nötigenfalls umzuarbeiten. Daß dies praktisch möglich ist, beweisen z. B. die „Mitteilungen der Wärmestelle Düsseldorf“.

Die Archive der physikalisch-technischen Reichsanstalt enthalten unendlichen Stoff, aber ihr „Wirkungsgrad“ ist gering. Viel und in guter Form geschieht für die wissenschaftliche Bildung durch das Vortragswesen unserer großen technischen Vereine, durch die besonderen Vortragsvereinigungen und die Vortragsabende, die auf unsern großen Werken abgehalten werden. Man sollte aber nicht nur wissenschaftliche Vorträge für Ingenieure halten, sondern auch wirtschaftliche und technische für die Gelehrten der Universitäten und Forschungsanstalten. Man sollte ihnen Gelegenheit geben, technische Werke zu besichtigen und sich in jeder Weise über die Bedürfnisse der Praxis auf dem Laufenden zu halten.

Eine wirksame Möglichkeit zur Hebung von Wissenschaft, Wirtschaft und deren Beziehungen würde darin bestehen, daß man besondere Kräfte hauptamtlich mit der Durchführung aller dieser Aufgaben betraut, diese Bestrebungen organisiert. Nun gehört aber zu einer guten Organisation dreierlei: die rechte Persönlichkeit, die notwendigen Mittel und die richtige Form; letztere besteht insbesondere darin, daß sie in dem Werkstattbetrieb der Industrie verankert sein muß. Vergleichen wir mit dieser Forderung z. B. den Aufbau der Organisationen, die man zur Hebung der Wirtschaftlichkeit gegründet hat und die im „Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk“ zusammengefaßt sind, so erkennen wir, wie schwer es ist, auf diesem Wege das Ziel schnell zu erreichen. Zudem tragen solche Körperschaften, namentlich wenn sie auf staatlicher Grundlage ruhen, die Gefahr in sich, bürokratisch zu werden; ihre Arbeitsweise wird zum System und verliert die Anpassungsfähigkeit. Gerade in einer gewissen Systemlosigkeit aber, im Wechsel der Mittel und im Suchen nach immer neuen Anregungen, liegt hier der Erfolg. Gute Erfahrungen hat man gemacht, wenn man innerhalb der großen Werke und Konzerne geeignete Persönlichkeiten mit der Aufgabe betraut hat, für bestimmte wirtschaftliche Fragen zu sorgen. Man hat aus der Front der Ingenieure einzelne Persönlichkeiten herausgezogen und sie gewissermaßen als Stabsingenieure zu den Hauptverwaltungen kommandiert, von wo aus sie das wirtschaftliche Arbeiten der einzelnen Werke prüfen und vergleichen und für die Einheitlichkeit innerhalb des ganzen Konzerns sorgen.

Es ist bemerkenswert, daß das militärische Bild des Stabsingenieurs gerade in Amerika aufgetreten ist. In dieser und anderer Beziehung sei auf den treffenden Aufsatz von zur Nedden im „Archiv für Wärmewirtschaft" 1924 S. 21 verwiesen. Gerade in jüngster Zeit haben auch große Konzerne mehrere tüchtige technische Physiker in den unmittelbaren praktischen Dienst eingestellt, und dies wird sicherlich von gutem Erfolg für die Verbindung von Wirtschaft und Wissenschaft sein, wäre es schließlich auch nur, daß diese Herren in mehrjähriger Tätigkeit so viel Wirtschaftskenntnisse in sich aufnehmen, daß sie bei späterer Forschertätigkeit den festen Boden werkhafter Industrie unter sich fühlen.

Man hat stellenweise auch versucht, für wissenschaftliche Fragen besondere Herren unmittelbar in großen Werken anzustellen, allerdings mit wechselndem Erfolg; denn wenn man hierfür jüngere und unerfahrene Kräfte verwendet, so mag es sein, daß diese selbstgesuchte oder ihnen gestellte Aufgaben zu lösen versuchen, die nach dem heutigen Stande der Wissenschaft für die Praxis überhaupt nicht lösbar sind, und es kommt nicht mehr heraus als eine ziel- und zwecklose Herumrechnerei. Solche Versuche werden nur glücken, wenn man dem Physiker festumrissene Aufgaben stellt, von denen man weiß, daß sie eine gewisse technische Reife erlangt haben.

Organisation der Forschung.

Die Zuweisung bestimmter Aufgaben an geeignete Kräfte ist ein Grundsatz, der jeder Organisation eigentümlich ist, ein Grundsatz, den am klarsten Taylor ausgesprochen hat. Er ist viel weniger wissenschaftlicher als wirtschaftlicher Natur, und man sollte daher auch nicht von wissenschaftlicher oder wirtschaftlicher, sondern von „vorbedachter Betriebsführung" sprechen, denn darin liegt das Wesen jeder Organisation, daß sie zielbewußt dem Zufälligen Rang und Ordnung gibt und statt einer allgemeinen und empirischen Richtung in — durch sorgsame Überlegung gewonnener — Erkenntnis den besten aller möglichen Wege aufsucht und einschlägt. An die Stelle kraftschlüssiger Paarung von Zufall und Wirkung tritt die Führung des Betriebes in zwangläufigen Bahnen. Die Ausnutzung der Ergebnisse der Wissenschaft ist nur eins der vielfachen Hilfsmittel, die hierbei zur Verfügung stehen, und man wird dieses Mittel selbstverständlich nach Kräften ausnutzen. Nur ist es nicht immer erforderlich, daß man diese Aufgabe dem ausgesprochenen Wissenschaftler zuweist. Man braucht z. B. einen Physiker nicht mit der Prüfung der besten Arbeitsgeschwindigkeit der Maschinen einer Werkstatt zu betrauen oder ihn den Arbeitsgang eines keramischen oder metallurgischen Ofens untersuchen zu lassen. Für die meisten derartigen Betriebsfragen eignet sich viel eher ein Ingenieur mit guter wissenschaftlicher Vorbildung, klarem Denkvermögen und einigem Geschick und Übung in technischen Versuchen. Mehr noch als für die besondern wissenschaftlichen Erfordernisse des Konstruktionstisches oder des ausgesprochenen Versuchsfeldes einer Maschinenfabrik empfiehlt es sich, für die Erfordernisse des Betriebes den Ingenieur mit den einschlägigen Aufgaben zu betrauen; man gewinnt dadurch den Vorteil, ihm den Aufgabenkreis so stellen zu können, daß er nicht nur in der Anwendung fremder und eigener Untersuchungen auf die Praxis besteht, sondern auch rein wirtschaftliche Fürsorge umfaßt. Ganz von selbst wird dann nach den bisherigen Erfahrungen ein solcher Ingenieur danach streben, die Fühlung mit der technischen Physik aufzunehmen, sie sogar zu einschlägigem Forschen anzuregen, ohne daß die wirtschaftlichen Belange darüber zu kurz kommen.

Einen solchen Aufgabenkreis bietet die alle Betriebe durchdringende Wärme- und Kraftwirtschaft. Die auf vielen Werken eingerichteten und mit besondern Wärmeingenieuren besetzten Werkswärmestellen haben den sehr nüchternen Zweck, Kohle zu sparen. Zu den vielfachen hier zur Verfügung stehenden praktischen Mitteln gehört auch das des Messens in der Form der reinen Betriebsüberwachung und zur Gewinnung von Verrechnungs- und Berechnungsunterlagen sowie als technisch-wissenschaftlicher Versuch.

Der planvolle, mit dem unumgänglichen wissenschaftlichen Rüstzeug unternommene und wirtschaftlich ausgewertete Versuch ist das beste Bindeglied zwischen Wirtschaft und Wissenschaft, das uns überhaupt zur Verfügung steht. Aber dieser Versuch, dieses Messen, ist viel schwerer, als gemeinhin angenommen wird. Beispielsweise sind die Schwierigkeiten des üblichen achtstündigen Kesselversuchs nach den Normen für Leistungsversuche so groß, daß die festgestellten Wirkungsgrade nur auf etwa ± 2 bis 3 vH zuverlässig sind und man eigentlich für jede genauere Messung zwei solcher Versuche nacheinander unternehmen müßte, die das gleiche Ergebnis liefern müßten. Die Schwierigkeit der Probenahme der Kohle, wie der Abgase, die Heizwertbestimmung bei dem Brennstoff, wie beim Unverbrannten in den Abgasen, namentlich auch bei Ruß und Flugkoks, zumal bei minderwertigen Brennstoffen und bei Kohlenstaubfeuerung, die Ungenauigkeiten in der Wägung von Kohle und Wasser, der Einfluß der Kapazität des Mauerwerks, die Fehlermöglichkeiten in der Bestimmung der Temperaturen, sind nur den Sachverständigen bekannt. Beispielsweise ergeben Temperaturmessungen im Flammrohr von Kesseln, wenn sie nicht mit Absaugepyrometern vorgenommen werden, stets so falsche Werte, daß sie vollständig unbrauchbar sind. Bekannt ist dem Eingeweihten auch, daß eine Untersuchung im Orsatapparat auf Kohlenoxyd bei Verwendung von Kupferchlorür während eines längeren Versuches unvermeidlich falsch ist, wenn man nicht mindestens 2 Pipetten, eine mit frischer und eine mit alter Lösung, benutzt.

Messen erfordert so viel Erfahrung, Geschick und allgemeine Vorbildung, daß man wohl Sonderingenieure mit diesen Aufgaben betrauen kann. Die Werkswärmestellen sind die geeigneten Organe hierfür, auch dann, wenn die Messung mit dem eigentlichen Gebiet der Wärmewirtschaft nur lose verknüpft ist. Der Durchschnitts-Betriebsmann kann bei aller Meßfreudigkeit, die man nur wünschen und wecken kann, den sachkundigen Helfer nicht entbehren. Wir leben im Zeitalter der technischen Spezialisierung, die auch die berufliche Sonderausbildung mit sich bringt. Schon ist es so weit, daß Pastor und Jurist sich näher stehen, als Schiffbauer und Chemiker. Um so wichtiger wird die technische Querverbindung, und gerade die Meßabteilungen, die Wärmestellen, sind für diese Kupplung auseinanderstrebender Kräfte wertvolle Glieder des Getriebes. Die neben anderem für die Höhe der Erzeugung so wichtige Beherrschung der Temperaturverhältnisse im Martinofen wird dem Leiter des Stahlwerks nicht gelingen, wenn der Wärmeingenieur nicht die Übertragung in Kammer und Ofen studiert und nach neuen Gesichtspunkten klarlegt, z. B. auf Grund der bisher ganz vernachlässigten, aber in Wirklichkeit entscheidenden Eigenstrahlung der Flamme. Der Wärmeingenieur wiederholt sich bei dem Betriebsleiter Aufklärung über die unlösbaren, mit den ganzen Vorgängen verkuppelten metallurgischen Fragen. Erst in diesem Zusammenwirken wird neuer Fortschritt geboren.

Wärmeingenieur und Betrieb.

Alle Arbeit der Wärmestellen, und nicht nur der Wärmestellen, sondern jeder betriebswirtschaftlichen und nicht unmittelbar dem Werkstättenleiter unterstehenden Organnisation, bleibt Stückwerk, wenn der Betrieb nicht mitarbeitet. Hier liegt der Schlüssel für den künftigen Fortschritt. Der Betriebsmann, mit tausend Aufgaben des Tages überlastet, kann nicht alles selbst machen wollen. Er muß sich daran gewöhnen, daß ihm ein andrer, nicht unter seinem vollen Einfluß stehender Fachmann zur Seite gesetzt wird, der ihm bei der Lösung seiner wichtigsten Aufgaben hilft. Mehrjährige Praxis hat gezeigt, daß es nicht zweckmäßig ist, den Wirtschaftsingenieur den Betriebsabteilungen zu unterstellen; im allgemeinen war nur dort ein großer Erfolg sichtbar, wo die Wirtschaftsabteilungen unmittelbar unter der obersten Werksleitung standen. Für die Gemeinschaftsarbeit von Betriebsingenieur und Wirtschaftsingenieur muß der Betriebsmann Selbstverleugnung und kameradschaftlichen Sinn, der Wirtschaftler Taktgefühl und Dienstwilligkeit aufbringen. Eine ganz neue geistige Einstellung muß hier Platz greifen, und nur wenn diese Erziehung zur Gemeinschaftsarbeit gelingt, werden wir wirklich vorwärts kommen. Unumgänglich für den Erfolg ist ferner Verständnis, ja anregende Führung durch die oberste Werksleitung. Ist diese lau, oder lebt sie in verkalkten Anschauungen, so fehlt der Arbeit der unteren Organe die materielle Hilfe, die belebende Anerkennung, der zusammenfassende Geist.

Aufgabe aller betriebswirtschaftlichen Stellen, ganz besonders auch der Wärmeingenieure, ist es, die Betriebsingenieure und die oberen Werksleiter mit Zahlen über die Betriebsvorgänge zu versorgen. Zahlen allein beweisen. Zu diesem Zweck muß eine geordnete Wärmebuchführung und eine sorgfältig geführte Statistik vorhanden sein, durch die der Wärme- und Kraftverbrauch aller betriebswichtigen Stellen, und besonders auch der Verluststellen, gesondert ermittelt wird; das sind Selbstverständlichkeiten, über die man heute in geordneten Betrieben kein Wort mehr zu verlieren braucht. Man muß aber auch dafür sorgen, daß die betriebswirtschaftliche Arbeit nicht in einer Flut von Papier ertrinkt und Statistik und Buchführung zum Selbstzweck werden. Dies ist genau so wichtig, wie daß ein Übermaß an Meßwerkzeugen, die Anhäufung einer Unzahl von Diagrammstreifen, nicht Zweck des Messens ist. Die „Instrumentitis", woran der eine oder andre Meßingenieur krankt, muß bekämpft werden. Alle betriebswirtschaftliche Arbeit taugt nur dann, wenn sie ausgewertet und im Betrieb verankert wird, und diese Aufgabe ist meist viel

schwieriger, als die nackte Feststellung der Verbesserungsmöglichkeit. Hier erkennt man wieder die Notwendigkeit des Zusammenarbeitens von Betriebsmann und Wirtschaftsingenieur. Der Wirtschaftsingenieur mag das beste schaffen, es bleibt zwecklos, wenn der Betrieb nicht nach diesen Ergebnissen eingerichtet wird.

Der Wärmefachmann muß ferner mit dem Ingenieur, der die Neuanlagen des Werkes entwirft, zusammenarbeiten, damit schon beim Entwurf für Möglichkeiten gesorgt wird, Messungen für die Betriebsüberwachung und das Selbstkostenwesen durchzuführen. Will man heute an einem Kamin auch nur Zug und Temperatur messen, so muß man erst den Maurer holen, der ein Loch hierfür in die Wand spitzt, während doch ganz selbstverständlich von vornherein ein Eisenrohr mit Verschlußstopfen eingemauert sein sollte. Fast nirgends ist ferner der Indikator ein organisches Glied der mit allen Mitteln erster Technik hergestellten Dampf- oder Gasmaschine. Will man in großen Wind- und Gasleitungen Mengenmessungen vornehmen, so fehlt es oft genug an dem hierfür erforderlichen langen geraden Stück. Es gibt Beispiele genug für solche mangelhafte Voraussicht; eines der wichtigsten ist, daß fast stets versäumt wird, große Kohlenverbraucher, z. B. Kesselhäuser und Generatoranlagen oder selbst ganze Kokereien, von Haus aus so zu bauen, daß man in jedem Augenblick eine Übersicht über den Kohlenverbrauch hat, oder Hochöfen so herzustellen, daß die gesamte erzeugte Gasmenge gemessen werden kann. Dies ist technisch möglich, für den Betrieb unendlich wichtig, aber leider geschieht es nicht.

Wärmeingenieur und Kaufmann.

Auch mit dem Kaufmann muß der Wärmeingenieur zusammenarbeiten; ist er es doch, der auf Grund seiner betriebsmäßigen Feststellungen die Unterlagen für die Verteilung von Strom, Gas, Wasser, Dampf, Wind usw. liefert. Zwischen Betrieb und Kalkulationsbüro müssen verbindende Fäden gesponnen werden; denn die Selbstkostenbuchführung dient nicht nur den Zwecken des Kaufmannes, muß vielmehr, richtig ausgestaltet, Sondererfordernissen des Ingenieurs entsprechen.

Auch bei kleineren Werken sollten die Unkosten für Wärme und Kraft in den Selbstkosten als besondere Posten erscheinen, vor allem muß, wenn eigene Kessel- und Kraftanlagen vorhanden sind, für diese ein besonderes Konto vorhanden sein. Betriebe, wo dies nicht der Fall ist, kann man ruhig als rückständig bezeichnen. Alles in allem sind die Wärmestellen dazu berufen, nicht nur Wissenschaft und Wirtschaft einander nahe zu bringen, sondern ganz allgemein der Mörtel zu werden, der das ganze Mauerwerk der Betriebsorganisation eines großen Werkes zusammenschließt.

Von den Wärmestellen ist hier gesprochen, weil, wie die Überschrift sagt, die Betrachtungen aus der Perspektive des Wärmeingenieurs angestellt sind. Die Erwägungen gelten aber auch für jede andre Betriebsorganisation; im Grunde ist es gleichgültig, ob ein Wärmebureau, eine Stoffwirtschaftsstelle, eine Werksversuchsanstalt (Laboratorium) oder eine Zeitstudienabteilung die treibende Kraft ist. Es kommt lediglich auf die Persönlichkeit des Wirtschaftsingenieurs und auf den Geist an, der in der gesamten Arbeit und auf dem ganzen Werk lebt. Je weiter die Spezialisierung in Technik und Wissen fortschreitet, je größere Konzerne auf der andern Seite durch die Kräfte der horizontalen und vertikalen Konzentration der Industrie auskristallisieren, umso nötiger wird eine solche Verbindung der verschiedenen Betriebstellen untereinander.

Die Verknüpfung aller Glieder zum einheitlich bewegten Organismus wird entscheidend für die Lebensfähigkeit der immer weiter wachsenden Verwaltungskörper, die zwischen Zentralisation und Dezentralisation, zwischen wirtschaftlich freier Entfaltung und bürokratischer Einengung ihrer Organe die lebensfähige Mitte nur finden können, wenn die erzieherische Aufgabe gelöst wird, daß sich jeder Angehörige des Werkes unter Aufgabe persönlicher Freiheiten nur als dienendes Glied des Ganzen fühlt und durch wirtschaftliches Verständnis und Allgemeinbildung befähigt wird, über die Mauern einseitiger Betriebswirtschaft hinauszusehen.

Wer sich als Betriebsingenieur nur einmal einen ganzen Tag lang bei jeder Maßnahme fragt, ob seine Anordnung nur dem eigenen Betrieb oder dem Wohl des ganzen Unternehmens zugute kommt, wird erstaunt sein, wie leicht man versucht ist, den engeren Gesichtspunkt den größeren Belangen überzuordnen. Dieses Aufgehen im Ganzen ergibt aber erst das rechte Zusammenspiel in der großen Sinfonie der Industrie, ergibt das Hohelied der Technik, in dem der reine Grundakkord der Wissenschaft nicht fehlen darf. Das Maß des Erreichbaren erkennt der Ingenieur erst, wenn er lernt, noch mehr als bisher nicht nur in Kräften und Massen, sondern in wirtschaftlichen Wirkungsgraden zu denken.

Es ist bis zur Lächerlichkeit des Gemeinplatzes leicht, dies alles auszusprechen, aber zwischen Erkennen und Ergreifen steht das psychologische Gesetz der Trägheit des Handelns. Bis solche Erkenntnisse in Fleisch und Blut des Ingenieurs übergehen, bis er nicht mehr anders denken und handeln kann, ist noch ein weiter Weg zurückzulegen. Wer in der Industrie Führereigenschaft fühlt oder Lehrer der Technik ist, wird immer wieder und wieder diese einfachen Gedanken wiederholen.

Dies möge zur Entschuldigung dienen, wenn die vorstehenden Ausführungen nichts weiter sind als Variationen über ein bekanntes Thema. Sie waren getragen von dem Wunsche, daß angewandte Wissenschaft gleichbedeutend sei mit Wirtschaft, damit Wissenschaft uns Werte schafft. [A 333]

PRAKTIKANTENAUSBILDUNG.

Von J. Hanner, Nürnberg.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924,
Fachtagung des Deutschen Ausschusses für technisches Schulwesen.

Forderungen der Praxis, Ausbildungsdauer, Ausbildung im Betrieb und außerhalb der Werkstatt, Verpflegungsbeihilfe, Zeugnisse. Richtlinien für das Praktikantenwesen.

Damit vermehrte Produktion zur Schaffung ausfuhrfähiger Waren unser verratenes und geknechtetes Heimatland vor den letzten Folgen des Versailler Diktats retten kann, muß höchste Vervollkommnung unsrer erzeugenden Kräfte: der industriellen Arbeiter und der die Arbeit vorbereitenden und ermöglichenden Ingenieure, angestrebt werden.

Das war die Überlegung, die den Deutschen Ausschuß für technisches Schulwesen kurz nach dem Kriege veranlaßte, zur Förderung der Facharbeiterausbildung für eine Reihe von Berufen Lehrgänge und Lehrpläne auszuarbeiten, die dem Industrielehrling eine planmäßige, alle Anforderungen seines Faches umfassende und möglichst vollkommene handwerks- und schulmäßige Ausbildung vermitteln sollen; die gleiche Überlegung veranlaßte ihn nunmehr, seine schon vor fünf Jahren begonnenen Bemühungen um eine möglichst gute Ausbildung des Ingenieurnachwuchses wieder mit erneuter Kraft aufzunehmen[1]).

Aus dieser Absicht kam der Auftrag, auf der Tagung des Datsch in Hannover über die Ziele und die Mittel der Ausbildung unsres Ingenieurnachwuchses in der Werkstatt und in der Betriebspraxis zu berichten.

Die Praktikantenarbeit im Rahmen des technischen Studiums.

Der Werdegang des Ingenieurs hat eine zweimalige Wandlung erfahren:

Unsre frühesten namhaften Techniker waren reine Werkstattpraktiker; sie haben die Bedürfnisse des Fortschrittes mit genialer Veranlagung aus dem Erleben der Praxis geschaffen; so entstanden die Dampfmaschinen, die Wasserhaltungsmaschinen, die Textilmaschinen usw. fast ohne zeichnerische Unterlagen.

Als man dann zur Erforschung und Verbreitung der theoretischen Grundlagen die Gewerbeakademien und technischen Hochschulen einrichtete, vergaß man beinahe, daß die Konstruktion nur ein Mittel zum Zweck der Erzeugung ist; die wissenschaftliche Betätigung und die Konstruktion wurde als Selbstzweck betrachtet, und dadurch wurde es möglich, daß man glaubte, einen Absolventen des humanistischen Gymnasiums rein vom Katheder aus zum Ingenieur ausbilden zu können,

[1]) Der Umfang des Referates versagt es, die für höhere Maschinenbauschulen und Technische Hochschulen unterschiedlichen Bezeichnungen (Schüler-Studierende, Unterricht-Vorlesungen usw.) richtig anzuwenden; die Bedürfnisse beider Unterrichtsanstalten sind trotz des Niveauunterschiedes so gleich gerichtet, daß gemeinsame Behandlung wohl gerechtfertigt ist.

in gleicher Weise wie den Philologen und den Mathematiker; er erhielt das Ingenieurdiplom, ohne von der Praxis seines Berufes mehr gesehen zu haben, als dies bei einigen Besichtigungen der Klasse im Wasser- und Gaswerk und in einigen Fabriken der Hochschulstadt möglich war.

Viel zu spät kam die Erkenntnis, daß die eigentliche Aufgabe der Ingenieure nicht das Berechnen, sondern das Schaffen, und zwar das Schaffen von Einrichtungen und Waren von höchster technischer und wirtschaftlicher Vollkommenheit ist, und daß deshalb die technisch-wissenschaftliche Vorbildung nur durchführbar ist, wenn sie in ihrer Wechselbeziehung zur praktischen Ausführung und wirtschaftlichen Fabrikation gelehrt wird. In dieser Erkenntnis wurde dem Studierenden auferlegt, eine gewisse Zeit in den Fabrikationswerkstätten zuzubringen, um sich für das Verständnis der technologischen Vorlesungen vorzubereiten und durch Anschauungsunterricht die praktische Ausführung kennen und dadurch die Ausführbarkeit beurteilen zu lernen.

Jetzt, infolge der wirtschaftlichen Knechtung durch den Feindbund, haben wir wiederum andre Lebensbedingungen für unsre Technik. Wir müssen nicht nur technisch und wirtschaftlich hervorragende Maschinen erfinden und ausführen, sondern wir müssen vor allem diese in weitergehender Weise als früher ohne Minderung der Güte möglichst billig, also mit höchster Wirtschaftlichkeit, herstellen. Diese Forderung verdichtet die Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Fabrikation derart, daß man vom selbständigen Konstrukteur nicht nur eine allgemeine Übersicht über die Ausführungsmöglichkeiten, sondern eine eingehende Kenntnis aller Fabrikationsverfahren und vor allem der Vorbedingungen für ihre exakte und wirtschaftliche Durchführung mit zeitsparenden Bearbeitungsvorrichtungen verlangen muß. Der Konstrukteur soll heute neben seiner theoretisch-wissenschaftlichen Ausbildung auch eine gewisse fabrikationswirtschaftliche Schulung besitzen. Gleichzeitig muß man auch vom Betriebsingenieur konstruktive Kenntnisse und Fähigkeiten verlangen, damit er die ihm übergebenen Konstruktionen mit einer durch volles Verständnis gehobenen Verantwortlichkeit ausführen kann, damit er ferner nicht ein Sklave der Zeichnung, sondern fähig ist, die Konstruktion bezüglich der Belange der Fabrikationstechnik zu beurteilen und den Konstrukteur sachlich zu beraten.

Diese an den selbständigen Konstrukteur und Betriebsingenieur gestellten Forderungen geben uns Anhaltspunkte dafür, wie das Studium auf der Hochschule und der Unterricht der höheren Maschinenbauschule durch Unterweisungen in der Praxis der Werkstattausführung und des Fabrikationsbetriebes zu ergänzen ist. Um die Ausführungen über die praktische Ausbildung auf den Erfahrungen der Praxis aufbauen zu können, wurden allen im Praktikantenverzeichnis des Datsch aufgeführten Betrieben sowie allen Höheren Maschinenbauschulen und Technischen Hochschulen die wesentlichen Fragen vorgelegt. Für die dadurch gewonnenen, teils sehr eingehenden Beiträge sei hier bestens gedankt.

Pflichten der industriellen Betriebe.

Vor allem muß von allen Leitern industrieller Betriebe begriffen werden, daß sie von den Schulen vollwertig vorgebildete Ingenieure nur verlangen können, wenn sie ihrerseits den Unterricht in solchem Umfange durch praktische Unterweisung unterstützen, wie es zur Erlangung der von ihnen erwarteten Kenntnisse nötig ist. Es sollten sich deshalb alle Direktoren, die vom anzustellenden Ingenieur eine gründliche Praxis verlangen, fragen, was sie zur praktischen Ausbildung unsres Ingenieurnachwuchses beitragen. Obschon man bereits vielfach in den Zeitschriften von Technikumslehrlingen, Hochschulpraktikanten und Werkstudenten las, so hat doch — trotz der Bemühungen der Schulen und der Propaganda des Datsch durch Werbeartikel und Merkblätter — nur eine geringe Zahl von Firmen, namentlich der Großindustrie, Fabriktor, Herz und Geldbeutel unsrer studierenden Jugend geöffnet. Es liegt ein schlimmer, aber leider berechtigter Vorwurf in der Mitteilung der befragten höheren Maschinenbauschulen und Hochschulen, daß nach den Beobachtungen beim Unterricht 25 bis 50 vH der Schüler oder Studierenden nur offensichtlich unzureichende Lehr- und Praktikantenstellen erhalten konnten.

Daß viele Betriebe der Praktikantenausbildung zu wenig Interesse widmen, ja vielleicht Zweck und Notwendigkeit noch gar nicht erfaßt haben, ist auch dadurch bewiesen, daß die gelegentlich dieses Berichtes vom Datsch nur an beachtenswerte Firmen ergangene Rundfrage lediglich von 27 vH der Befragten einer Beantwortung gewürdigt wurde. Dieses betrübende Ergebnis gibt Veranlassung, es jeder Firma, die Ingenieure beschäftigt, zur Gewissenspflicht zu machen, daß auch sie nach bestem Vermögen zur Ingenieurausbildung beitrage. Die Ingenieurausbildung ist in gleicher Weise wie die Facharbeiterausbildung eine Pflicht für die Selbsterhaltung der Industrie, die von allen ihren Gliedern einmütig getragen werden muß. Wer sich lediglich damit begnügt, von dritter Seite ausgebildete junge Ingenieure anzustellen, ohne selbst etwas in dieser Richtung zu tun, gehört zu jenen, die mühelos ernten wollen, was andre säen.

Man hört vielfach: Wir können keine Praktikanten ausbilden, unser Betrieb ist zu einseitig, oder: wir haben nur 200 Arbeiter, unser Betrieb ist zu klein. Vielleicht kommt diese Ansicht daher, daß in den Merkblättern des Datsch alle Fächer — Formerei, Modellschreinerei, Dreherei usw. — aufgezählt sind, in denen der Praktikant Übung und Beobachtungen sammeln soll. Diese Ansicht ist aber irrig; denn es sind ja verhältnismäßig wenig Werke vorhanden, die in sich alle Handwerke vereinigen, die der Studierende kennen lernen muß; man kann und darf diesen wenigen Großbetrieben die Praktikantenausbildung nicht allein aufbürden. Deshalb müssen sich auch mittlere und kleine Betriebe in den Dienst dieser Gemeinschaftsarbeit stellen und dem Ingenieurpraktikanten Gelegenheit geben, seine Kenntnisse sozusagen auf der Wanderschaft durch mehrere Fabriken zu sammeln. So haben z. B. einige Maschinenfabriken ohne eigene Gießerei bereits mit ihren Vertragsgießereien vereinbart, daß diese ihre Praktikanten zur Unterweisung in Modellschreinerei und Formerei aufnehmen. Gerade dieses Arbeiten in mehreren Betrieben wird dem Studierenden, der mit offenen Augen und regem Geist seiner Ausbildung obliegt, viele lehrreiche Vergleichmöglichkeiten geben. Es scheint auch sehr gut möglich, daß in einem Spezialbetrieb dem Praktikanten das Wesen und die Vorbedingungen wirtschaftlicher Reihenfabrikation instruktiver vor Augen tritt, als im alles umfassenden Großbetrieb.

Aufnahme der Praktikanten.

Um allen zum Ingenieurberuf strebenden jungen Leuten wirklich geeignete Praktikantenstellen zu vermitteln und die die Ausbildung meist erschwerende Überfüllung einzelner entgegenkommender Großbetriebe durch Verteilung der Praktikantenstellen zu verhindern, hat der Datsch vor einigen Jahren einen Praktikantenstellen-Nachweis mit Vertrauensmännern bei allen Bezirksvereinen des V. d. I. und an allen Hochschulen ins Leben gerufen. Daß dieses Ziel nicht erreicht wurde, liegt vorwiegend an dem ablehnenden Verhalten vieler Betriebe. Wir haben deshalb heute noch den Zustand, daß viele sehr wohl geeignete Fabriken keine Praktikanten aufnehmen oder diese ungenügend ausbilden, während andre als entgegenkommend bekannte Betriebe dreimal bis fünfmal mehr Gesuche erhalten, als Plätze zu vergeben sind. Die daraus bei einzelnen führenden Firmen jährlich auftretende Überfüllung mit Praktikanten bringt auch für die Gründlichkeit der Ausbildung eine gewisse Gefahr, weil es oft schwer fällt, ausreichend lehrhafte Arbeit bereitzustellen, und weil die mit der Ausbildung betrauten Betriebsorgane überlastet werden und dadurch dem einzelnen weniger Zeit widmen können.

Das Vorstehende, der große Andrang zur Technik und die Notwendigkeit, ungeeignete Leute von der Ingenieurlaufbahn fernzuhalten, veranlassen die Frage, nach welchen Grundsätzen die Auswahl aus den Anmeldungen erfolgen soll. Die Schulfachleute warnen davor, diese Auswahl nur nach den Schulzeugnissen zu treffen, weil sich viele junge Leute im Fachstudium völlig anders entwickeln als im allgemein bildenden Schulunterricht. Auch Eignungsprüfungen für diesen Beruf stehen sie durchweg ablehnend oder zumindest sehr skeptisch gegenüber. Mehrere Schulen bezeichnen eine richtige Berufsberatung an der Mittelschule für wertvoller als eine schematische Eignungsprüfung auf noch völlig unerprobten Grundlagen. Es erscheint deshalb wohl richtig, die Mittelschulnoten in Deutsch, Mathematik, Physik, Chemie und Zeichnen nur allgemein zu betrachten und in Menschenbeurteilung erfahrenen Leuten die Auswahl nach dem persönlichen Eindruck der Bewerber treffen zu lassen; denn für den Ingenieurberuf ist der Persönlichkeitswert ebenso wichtig wie theoretische Schulkenntnis. Im übrigen soll man die Praktikanten während ihrer Ausbildungszeit gut beobachten, denn es liegt im Interesse der jungen Leute und der Industrie, solche, die für den technischen Beruf keine Veranlagung zeigen, möglichst bald eingehend zu beraten und gegebenenfalls wieder zu entlassen.

Da erfahrungsgemäß höhere Maschinenbauschulen bei starkem Andrang die Bewerber nach ihren Schulentlassungszeug-

nissen aussondern und jene mit mäßigen Noten in Mathematik, Physik usw. trotz der bereits durchgemachten zweijährigen praktischen Ausbildung als überzählig zurückweisen, sollten die maßgebenden Stellen für richtige Aufklärung bei der Berufsberatung vor der Schulentlassung sorgen und für junge Leute mit entsprechenden Schulnoten eine bindende Vormerkung bei den höheren Maschinenbauschulen vor der zweijährigen praktischen Ausbildung ermöglichen. Wenn man eine solche Maßnahme auch seitens der Hochschulen treffen könnte, so würde der den Unterrichtserfolg gefährdende ungerechtfertigte Andrang eingedämmt und manche persönliche Enttäuschung erspart werden können.

Daß mit den zugelassenen Praktikanten ein Lehr- bzw. Ausbildungsvertrag abzuschließen ist, der — obschon die Praktikanten nicht zu den gewerblichen Arbeitern zählen — die einschlägigen Bestimmungen der Gewerbeordnung als maßgebend festlegt, ist für beide Parteien eine Notwendigkeit. Der Datsch hat einen Vordruck hierfür aufgestellt und gibt diesen zum Selbstkostenpreis ab.

Die

Dauer der praktischen Ausbildung

ist eine viel umstrittene Frage. Vorgeschrieben sind in den Aufnahmebedingungen der Höheren Maschinenbauschulen zwei Jahre Werkstattlehre, in den Prüfungsbestimmungen der technischen Hochschulen 12 Monate Betriebspraxis. Während für die Maschinenbauschüler die ununterbrochene Absolvierung dieser Lehrzeit in einem Zug nötig ist und sich von selbst ergibt, besteht für die Hochschüler, die zufolge der Termine von Mittelschulschluß und Hochschulbeginn entweder 6 Monate oder 18 Monate Praxis zwischen Mittelschule und Hochschule einschalten müssen, vielfach der Wunsch, ihre Werkstattausbildung in ein Halbjahr vor Hochschulbeginn und zwei Vierteljahre während der Sommerferien zu teilen. Eine solche Teilung wurde von den meisten Hochschulen deshalb empfohlen, weil im höheren Semester das Interesse meist größer ist und weil die praktische Tätigkeit nach Vorbereitung durch den Fachunterricht einen höheren Wirkungsgrad hat; der Praktikant weiß dann, was er sich besonders eingehend ansehen muß, während er vorher am Wichtigen oft achtlos vorbeigeht. Aus dem gleichen Grund bezeichnete auch eine Reihe von Maschinenbauschulen eine weitere Praxis während der großen Sommerferien als günstig. Die Unterteilung entspricht auch dem Ausbildungsgang an den englischen technischen Schulen, die mit diesem sogenannten Sandwich-System sehr gute Erfahrungen gemacht haben. Auch der Vorteil der dadurch erreichten Abwechslung von geistiger und körperlicher Arbeit für die meist noch in körperlicher Entwicklung stehenden jungen Leute muß im Zusammenhange hiermit erwähnt werden.

Dieser Befürwortung geteilter Praxis steht die Ansicht mehrerer Großbetriebe gegenüber, daß das praktische Jahr zur Wahrung einer planmäßigen Ausbildung und aus Rücksichten auf ihren Betrieb ununterbrochen vor dem Studium durchgemacht werden müßte.

Auch der letzteren Ansicht muß man Berechtigung zusprechen. Die Verhältnisse zwingen aber oft zu einem Kompromiß. Das volle praktische Jahr vor dem Studium ist erstrebenswert, zumal es wegen der oben erwähnten Termine zwangläufig zu der für Betriebsingenieure und Konstrukteure in gleicher Weise wertvollen längeren Praxis von 1½ Jahren führt. Anderseits ist für Studierende, die sich der Forschung, der Planung von Anlagen, der Leitung eigener Betriebe, in denen sie aufgewachsen sind, dem Verkaufswesen und einer ähnlichen, weniger mit der Fabrikation zusammenhängenden Tätigkeit widmen wollen, solche verlängerte Praktikantenzeit nicht nötig. Ferner gebietet auch die Rücksicht auf die wirtschaftliche Lage des Mittelstandes, der von jeher Industrie und Staat mit den besten Kräften versorgt hat, und der jetzt nur unter erheblichen Entbehrungen seine Söhne studieren lassen kann, daß das Studium nicht unnötig verteuert wird. Wenn das ungeteilte praktische Jahr vor Beziehen der Hochschule allgemein Vorschrift werden sollte, so könnte leicht das technische Studium eine Domäne jener Kreise werden, die es verstehen, sich auch bei der jetzigen Volksnot reichliche Geldmittel zu verschaffen, und es könnten dadurch auch im Ingenieurberuf beklagenswerte Zustände einreißen.

Die Art der Ausbildung.

Die Dauer des Praktikums und die Frage, ob es ungeteilt abgelegt werden muß oder halb- und vierteljahrsweise angesammelt werden darf, ist wohl nicht von so schwerwiegender Bedeutung, wie die Intensität dieser Ausbildung. Es soll hier nicht darauf eingegangen werden, in welchen Gewerken ein Studierender des Maschinenbaues, der Elektrotechnik, des Schiffbaues oder Eisenbaues arbeiten soll; Richtlinien hierfür sind in den vom Datsch herausgegebenen Merkblättern und Berufsberatungsschriften zu finden. Es können dies auch nur allgemeine Richtlinien sein, denn im besondern richtet sich das nach den Fabrikationsgebieten der Betriebe, in denen der Praktikant Aufnahme findet. Beachtenswert sind die Äußerungen der Schulen zu dieser Frage: Während einige noch in einer guten Schlosserausbildung die Grundlage für Studium und späteren Beruf sehen, verlangen die meisten Schulen reichliche Praxis in Modelltischlerei und Formerei zur Entwicklung konstruktiver Fähigkeiten. Mehrere Antworten empfehlen als Kernpunkt des Werkstattstudiums die praktische Ausbildung in den verschiedenen Verfahren der mechanischen Bearbeitung unter besonderer Berücksichtigung der Vorrichtungen für erhöhte Genauigkeit und Arbeitsersparnis; denn später sollte der Ingenieur alles, was er zu gestalten oder auszuführen hat, auf technisch und wirtschaftlich zweckmäßigste Herstellbarkeit beurteilen können. Endlich wird von den meisten noch reichliche Mitarbeit bei Montagen und auf Prüffeldern verlangt, da hier das Wesen der Apparate und Maschinen am besten zu erkennen sei.

Diese Ratschläge kennzeichnen, was für den künftigen Konstrukteur und Betriebsmann notwendig ist, und geben dadurch Hinweise, wie der Praktikant auszubilden und wie er zu diesem Zweck in den Betrieb einzugliedern ist.

Der Praktikant muß eine gekürzte und seiner durch Alter und Schule gehobenen Aufnahmefähigkeit angepaßte Facharbeiterlehre in verschiedenen Berufen durchmachen. Er muß dabei eine bestimmte Handfertigkeit in den verschiedenen Gewerken erwerben, denn nur durch eignes Erleben haftet das Gelernte in der Erinnerung. Auch braucht er die Handfertigkeit, um später in den höheren Stufen der praktischen Ausbildung, in Gruppenschlosserei, Montage, Prüffeld und Versuchsraum, durch intensive Mitarbeit dauernden Nutzen zu erlangen. Das wesentliche Ziel der Praktikantenausbildung ist aber im Gegensatz zur Facharbeiterausbildung nicht lediglich ein Können, sondern vor allem ein umfassendes, möglichst kritisch tiefgehendes Wissen, eine Kenntnis aller Fabrikations- und Bearbeitungsverfahren und ein Verständnis für deren technische Möglichkeiten und wirtschaftliche Eigentümlichkeiten, sowie die Kenntnis der zu einem Fabrikationsbetrieb nötigen Einrichtungen, der Bearbeitungsmaschinen, der Hilfsbetriebe, der Kraftversorgung und -verteilung, der Wärmewirtschaft usw. Deshalb soll der Praktikant nach seiner handwerksmäßigen Unterweisung durch planmäßige Versetzung zur Mitarbeit in verschiedenen Betriebsabteilungen die Möglichkeit haben, in verhältnismäßig kurzer Zeit möglichst viel gründlich zu sehen.

Zur Erlangung einer derartigen Ausbildung darf man — wie es leider oft vorkommt — den Praktikanten nicht ohne die notwendigen Rechte lediglich unter die wesentlich jüngeren Facharbeiterlehrlinge stecken und man darf ihn auch nicht als den „Herrn Volontär" ohne Pflichten im Betrieb herumstehen lassen. Man muß dem Praktikanten eine gewisse Sonderstellung im Betrieb einräumen, soweit dies die Ausbildung erheischt. In der Werkstatt muß sich der Praktikant als Lehrling fühlen und benehmen; er muß die ihm übertragenen Arbeiten mit Fleiß und Strebsamkeit möglichst gut auszuführen versuchen. Anderseits soll man dem Praktikanten gestatten, sich zu festgesetzten Zeiten, z. B. zwei- bis viermal wöchentlich 1 Stunde vor Arbeitsschluß, im ganzen Betriebe frei zu bewegen, um alles für ihn Wissenswerte besehen und im Entstehen verfolgen zu können.

Es ist aber darüber zu wachen, daß diese Bewegungsfreiheit nicht zu einem Bummeln mißbraucht wird. Gerade weil der Praktikant später einem höheren Berufstand angehören will, muß er sich der den Arbeitern auferlegten Arbeitsordnung in jeder Beziehung unterwerfen und durch Pünktlichkeit, Fleiß und Selbstzucht sowie durch ernste gute Arbeit die Achtung der Arbeiter zu erwerben suchen. Der Praktikant soll unter und mit den Arbeitern leben, damit er das Denken und die Sorgen der Arbeiter kennen lernt und später als Vorgesetzter die richtige Einstellung der Arbeiterschaft gegenüber finden kann.

Alle diese Gesichtspunkte sind dem Praktikanten bei seinem Eintritt völlig neu. Er versteht meist gar nicht, weshalb er als künftiger Ingenieur in die Werkstätte gesteckt wird; er weiß nicht, daß die Fabrikations- und Betriebskenntnisse die Grundlagen für das Verständnis der Konstruktionslehre und für jede spätere Ingenieurarbeit sind. Deshalb muß man die Praktikanten bei ihrem Eintritt über den Zweck dieses Praktizierens und über die Stellung, die sie in der Werkstätte und unter der Arbeiterschaft einnehmen sollen, ausreichend aufklären. Ebenso muß man

auch die Betriebstechniker und Meister, die sich der Praktikanten annehmen sollen, über das, was diese lernen und sehen sollen und wie sie zu behandeln sind, richtig instruieren.

Der Praktikant ist Ingenieurlehrling, deshalb muß die Fürsorge für ihn auch einem Ingenieur, der die Fabrikation unter höherem kritischen Gesichtswinkel betrachtet und zu erklären vermag, übertragen werden. Damit soll nicht etwa von allen Betrieben Bezahlung eines eigenen Ingenieurs für diesen Zweck gefordert werden; das ist nur in den größten Werken durchführbar. Es wird aber in jeder Fabrik ein Betriebsingenieur zu finden sein, der dieser wichtigen Aufgabe das richtige Verständnis zu widmen vermag, und dieser soll der Unterweisung der Praktikanten wöchentlich eine bestimmte Zeit und die notwendige Sorgfalt widmen. Die Handfertigkeit im Fräsen, Formen, Schweißen sollen dem Praktikanten die Lehrlingsmeister beibringen; aber die Wirtschaftlichkeit und Anwendbarkeit von Satzfräsern, die Vorbedingungen für Formmaschinenguß, die Vorbereitung der Werkstücke zu einer haltbaren Autogenschweißung, ferner die Einrichtungen der Kraftzentrale usw. muß ihm der Ingenieur erklären und begründen.

Belehrung der Praktikanten außerhalb der Werkstatt.

Diese Erklärungen sind in der geräuschvollen Betriebswerkstätte, namentlich bei größerer Praktikantenzahl, meist erschwert. Deshalb ist die Abhaltung solcher Aussprachen zur Zeit der Betriebsruhe oder in einem besondern Raum zu empfehlen. Stoff ist in Menge vorhanden; dem Praktikanten ist meist alles, was in seinen Gesichtskreis kommt, völlig fremd; er ist deshalb ein dankbarer Zuhörer. Die verschiedenen Erzeugnisse des Betriebes, die Organisation der Auftragbeschaffung, die verschiedenen zur Verarbeitung kommenden Rohstoffe, die Betriebsorganisation, die Werkzeugmaschinen, die Versorgung der Werkstätten mit Licht, Kraft und Heizung, die Feststellung der Stücklöhne, die Berechnung der Gestehungskosten, alles das sind Gesprächstoffe, die dem in ein Neuland eingetretenen Praktikanten erst die Augen öffnen für das, was um ihn herum vorgeht; er wird sicher durch erhöhtes Interesse die Mühe lohnen. Ein Großbetrieb läßt sogar für seine Praktikanten durch Konstrukteure und Betriebsingenieure jährlich besondere Lichtbildvorträge über etwa 24 Gebiete abhalten, um ihnen zu zeigen, was in den Werkstätten alles zu sehen und zu lernen ist.

Da die Einrichtung eines richtigen Werkschulunterrichts für Praktikanten vielfach empfohlen wird und auch bereits teilweise erfolgt ist, wurden auch hierüber Äußerungen eingeholt. Nur drei Maschinenbauschulen und zwei Hochschulen halten einen Fachunterricht in besondern Klassen der Werkschule oder Gewerbeschule für überflüssig. Alle andern Schulen empfehlen besondere Praktikantenklassen, die aber die Werkstattausbildung nicht kürzen und deshalb außerhalb der Arbeitzeit stattfinden sollen. Als Unterrichtstoff wird außer Einführung in die Werkstoff-, Werkzeug- und Bearbeitungskunde vor allem Anfertigung freihändiger Maßskizzen nach DI-Norm von Maschinenteilen nachdrücklich empfohlen. Einige Hochschulen haben anscheinend Veranlassung zu dem Rat, daß dieser Praktikantenunterricht in Händen neuzeitlich ausgebildeter Ingenieure liegen muß, weil durch veraltete Zeichenverfahren die spätere Ausbildung auf der Schule geschädigt statt gefördert würde.

Von einem Zeichen- oder gar Konstruktionsunterricht raten sämtliche Schulen ausdrücklich ab. Ebenso findet der in letzter Zeit von beachtenswerter Seite wiederholt besprochene Vorschlag, an Werkschulen gemachte Zeichnungen auf die Pflichtzeichnungen anzurechnen, von allen Maschinenbauschulen und mit einer Ausnahme auch von den Hochschulen Zurückweisung. Diese Ablehnung ist dadurch verständlich, weil ja nur sehr wenige Werke bereits die Möglichkeit zur Einrichtung von Praktikantenklassen haben, weil für diesen Unterricht unmöglich Lehrkräfte von bestimmter Ausbildung gefordert werden können und weil auch noch keinerlei Richtlinien für solchen Zeichenunterricht eingebürgert sind. Wenn einzelne Betriebe im Interesse ihrer Praktikanten dem Fach- und Hochschulunterricht in dieser Beziehung vorarbeiten wollen, so bieten die Deutschen Industrienormen maßgebende Grundsätze und die Lehrgangzeichnungen des Datsch ausreichende Beispiele, wie der Praktikant Maschinenteile, mit denen er sich im Betriebe zu beschäftigen hat, darstellen soll: Darüber hinausgehende Künste sind als das Ziel überschreitend, abzulehnen; ein solcher Vorbereitungsunterricht darf sich nicht auf Gebiete begeben, die der Hochschule vorbehalten bleiben müssen. Sehr fördernd ist es für die Ausbildung, wenn man die Praktikanten über ihre Arbeiten jeweils kurze Berichte mit Erläuterungsskizzen machen läßt, damit sie sich über alle Einzelheiten Rechenschaft geben müssen. Hierfür sind die vom Datsch herausgegebenen Arbeitsbücher zu empfehlen.

Wenn man die Ausbildung der Praktikanten in dieser Weise fördert, dann kann man wohl unter Berücksichtigung der Notwendigkeit, daß die jungen Leute möglichst bald zum Verdienen kommen, von einer zwangsweisen Verlängerung des praktischen Jahres absehen. Es kann dann wohl auch die Frage besprochen werden, ob die von höheren Maschinenbauschulen, die im Herbst beginnen, gewünschte Verkürzung der Vorbildung auf 1½ Jahre durchführbar ist, da jetzt der Maschinenbauschüler aus den erwähnten Gründen zwischen Entlassung aus der Mittelschule und Eintritt in die Maschinenbauschule 2½ Jahre älter wird.

Unterstützung der Praktikanten.

Mit der vorstehend skizzierten Vorbildung für das Studium ist das aus der Not entspringende Bestreben vieler junger Leute, als angelernte Arbeiter gegen tarifliche Bezahlung zu arbeiten und die Arbeitsbescheinigung als Beweis für eine praktische Ausbildung zu unterschieben, nicht vereinbar. Es ist ja verständlich, daß ein strebsamer Mensch alle Wege versucht, um den gewählten Beruf zu erreichen. Aber als Angelernter bliebe er dauernd an seinen Arbeitsplatz gebunden, er würde nur für eine bestimmte Verrichtung mechanisch abgerichtet werden und es würde ihm die nötige umfassende Ausbildung unmöglich gemacht sein; für die Vorbereitung zum Ingenieur wäre die aufgewandte Zeit nahezu verloren.

Deshalb haben schon zu Beginn des Währungsverfalls, als in fast allen Familien des Mittelstandes die für die Söhne zurückgelegten Studienspargroschen zu nichts zerschmolzen, viele einsichtige Firmen ihren Praktikanten eine Verpflegungsbeihilfe gewährt, um dadurch unserm technischen Nachwuchs über die praktische Ausbildungszeit hinweg zu helfen. Die Umfrage ergab, daß heute die meisten Firmen ihren Praktikanten eine Beihilfe geben, wenn auch die Beträge vielfach sehr unterschiedlich bemessen sind. Die beste Lösung fanden einige abseits liegende Werke, indem sie den Praktikanten Quartier und Verpflegung kostenlos gewähren; weitaus die meisten geben den tariflichen Lehrlingslohn; viele zahlen höhere Beträge, vom Lohn des jugendlichen Arbeiters bis zum Verdienst des gleichaltrigen angelernten Arbeiters. Der Lehrlingslohn ist für die meisten Fälle recht gering, denn er ist für erheblich jüngere Burschen unter der Voraussetzung, daß diese im elterlichen Haushalt leben, bemessen. Da die Praktikanten meist außerhalb des Elternhauses Unterkunft und Kost suchen müssen, sollte man die Bezahlung des gleichaltrigen ungelernten Arbeiters als Norm aufstellen. Man entgegne nicht, daß das für die Betriebe zu teuer sei. Man soll das auch den Praktikanten nicht als Geschenk hinwerfen, sondern man soll ihnen möglichst Gelegenheit geben, diesen Betrag zu verdienen, indem man für ihre Unterweisung geeignete produktive Arbeiten bereitstellt, oder indem man sie als Hilfsarbeiter besonders geeigneten Partieführern zuteilt, bei deren Arbeit sich Unterrichtzweck mit nutzbringender Betätigung vereinigen lassen. Es liegt größtenteils in der Hand des die Ausbildung überwachenden Betriebsingenieurs, ob aus den Praktikanten Ärgernis erregende Bummler oder arbeitsfreudige Mitarbeiter werden; wesentlich ist eben, daß man ihr Interesse an der Tätigkeit wach erhält.

Also alle Betriebe, die Ingenieurtätigkeit brauchen, sollen zur praktischen Vorbildung für das Ingenieurstudium nicht nur verständig mitwirken, sondern ihren Praktikanten auch eine angemessene Verpflegungsbeihilfe gewähren. Soweit diese nicht durch produktive Leistungen der Praktikanten gedeckt werden kann, gehört diese Fürsorge für den Ingenieurnachwuchs in gleicher Weise zu den Geschäftsunkosten, wie die Verbandsbeiträge, die Feuerversicherung und die Kosten der Lehrlingsnachzucht. Je mehr Betriebe sich in den Dienst der Sache stellen, um so ge[illegible]nger wird die Belastung der einzelnen Firma.

Zeugnisse.

Da die praktische Ausbildung von den Schulen obligatorisch verlangt und auch von den Firmen bei Anstellungsbewerbungen sehr beachtet wird, wurde schon häufig angeregt, in die Ausbildungsbescheinigungen ein Urteil über Fleiß, Pünktlichkeit und Führung aufzunehmen. Auf Umfrage bezeichneten weitaus die meisten Firmen, Maschinenbauschulen und Hochschulen ein solches Urteil als sehr erwünscht, doch brachten einzelne der in solchen Fragen erfahrenen Schulen auch beachtenswerte Bedenken. Vor allem soll die Beurteilung nicht Meistern überlassen bleiben, sondern sie soll durch die Betriebsingenieure auf Grund genauer Beobachtung des Praktikanten gewissenhaft erfolgen; dann soll man unter Vermeidung allgemeiner summarischer Ausdrücke eine dem Schulbrauch angepaßte Beurteilung durch Noten vornehmen; schließlich soll man eine Beurteilung nur einführen,

wenn man sich objektiv genug fühlt, um den gleichen Maßstab auch gewissenhaft an Söhne von Werkangehörigen und Geschäftsfreunden, die oft einen erheblichen Teil stellen, anzulegen. Um eine solche Beurteilung verantwortlich durchzuführen, wird es nötig sein, daß der Datsch Richtlinien für die Beurteilungspunkte und die Notenabstufung aufstellt und daß die Einzelqualifikationen bei jedem Beschäftigungswechsel, bei längerer Beschäftigungsdauer in einem Gewerk in Zeitabschnitten von 2 Monaten, durch die den Praktikanten beobachtenden Betriebsbeamten festgestellt und zu den Personalakten genommen werden. Nur dadurch wird die Aufnahme gerechter Durchschnittsnoten im Ausbildungszeugnis möglich. Eine derartige Beurteilung durch die jeweiligen Betriebsvorgesetzten bringt auch den Vorteil, daß die Praktikanten nähere Fühlung mit ihren Betriebsingenieuren suchen werden und daß auch vielbeschäftigte Betriebsingenieure sich eingehender für die Praktikanten interessieren. Dies ist auch im eigensten Interesse der Betriebe nötig, denn bei Bedarf an jüngeren Kräften wird man vorteilhaft auf frühere Praktikanten zurückgreifen, die als intelligent und strebsam vorgemerkt sind und die durch Kenntnis des Betriebes sich rascher einarbeiten werden. Es ist deshalb angezeigt, nicht nur die Beurteilungen zu den Personalakten zu nehmen, sondern auch besonders hervortretende Fähigkeiten, wie besondere Eignung für Betriebstätigkeit oder Außendienst, vorzumerken.

Die weitere Frage, was man mit Praktikanten macht, die nur studieren wollen, um Student zu sein, aber das zur richtigen Ausbildung nötige Berufsinteresse vermissen lassen, brachte fast übereinstimmend den Rat, von Geldstrafen abzusehen, sondern sie lediglich ernsthaft zu verwarnen und im Wiederholungsfalle zu entlassen. Es gehört eben auch zu den Pflichten für die Weiterentwicklung der Industrie, daß man junge Leute, von denen eine ersprießliche Berufstätigkeit nicht erwartet werden kann, rechtzeitig vom Studium fernzuhalten versucht.

Verlängerung der pflichtmäßigen Praktikanten-Arbeit — Werkstudenten.

Wenn wir den Studierenden anraten, ihre praktische Ausbildung über das obligatorische Maß hinaus nach Möglichkeit zu ergänzen und zu erweitern, so müssen wir auch Wege dazu öffnen. Eine Gelegenheit hierzu wird schon von vielen industriellen Werken dadurch gegeben, daß sie Studierende, die die pflichtmäßige Praktikantenzeit nachweislich erfolgreich abgelegt haben, als Werkstudenten oder Ferienhilfsarbeiter während der großen Sommerferien aufnehmen. Sie werden dann auf Prüffeldern beschäftigt oder in Betriebs- (Aufgabe-, Termin-, Kalkulations-, Werkzeug-, Kraftbetriebs-) Bureaus als technische Bureaugehilfen, damit sie hinter die Kulissen der Betriebführung sehen können, oder im Konstruktionsbureau oder im Vorrichtungsbau als Zeichner, damit sie sich eine Fertigkeit am Reißbrett erwerben und sich auf eine spätere Konstrukteurtätigkeit vorbereiten können. Da bei ernsthafter Absicht in jedem Betriebs- und Konstruktionsbureau viele Arbeiten zu finden sind, die aus Zeitmangel zurückgestellt werden mußten, aber von derartigen intelligenten, arbeitsfreudigen Hilfskräften bei geringer Anleitung erledigt werden können, erhalten die Studenten dadurch nicht nur eine gute Ausbildungsmöglichkeit, sondern durch produktive Leistung auch eine Verdienstmöglichkeit, und die Betriebe können mit manchem Arbeitsrückstand aufräumen. Sie können dann solchen Ferienhilfsarbeitern mit gutem Gewissen auch einen der Tätigkeit entsprechenden Lohn zahlen und dadurch manchem bedürftigen Studenten die Sorgen für das nächste Studienhalbjahr mildern.

Im Zusammenhang hiermit sei lediglich an die vielen veralteten Werkzeichnungen erinnert, die auf Umarbeitung nach Grundsätzen moderner Betriebsführung warten. Natürlich hat eine derartige Ferientätigkeit nur für die drei Monate der großen Ferien einen Sinn und darf nicht auch für die kurzen Weihnachts- und Osterferien angestrebt werden; während dieser Unterrichtpausen werden meist Studienarbeiten zu erledigen sein. Auch sollte grundsätzlich abgelehnt werden, Studenten für gewöhnliche Tagelöhnertätigkeit, bei der sie gar nichts lernen können, nur um des Geldverdienens willen einzustellen.

Der Zweck des Werkstudententums muß stets die Ausbildung bleiben; je mehr Werke diese hohe Aufgabe in ihrem eigenen Interesse verfolgen, um so leichter finden die Studenten ein Unterkommen und einen tatsächlich verdienten Lohn, und um so geringer wird die Inanspruchnahme der einzelnen Betriebe.

Zum Schluß sei lediglich der Vollständigkeit wegen noch die wiederholt gestellte Anregung erwähnt, Ingenieure nach ihrem Diplomexamen noch einige Zeit als Praktikanten in Laboratorien, Versuchsräumen, Prüfständen usw. zur weiteren Ausbildung zu beschäftigen. Das ist bei einigen großen amerikanischen Elektrizitätsfirmen der Brauch, ist aber für deutsche Verhältnisse, die nach der Abschlußprüfung zum sofortigen Geldverdienen zwingen, kaum anwendbar. Man darf wohl die Randbemerkung aussprechen, daß dieses Praktikantentum vor allem für Firmen mit großem Personalbedarf vorteilhaft ist, damit sie unter den Bewerbern brauchbare Leute auswählen können.

Das in Vorstehendem entwickelte Bild, wie die Industrie die praktische Vorbildung ihres Ingenieurnachwuchses betreiben soll, ist nunmehr in kurze

Richtlinien.

zusammenfassen:

1. Jeder technisch und wirtschaftlich ausreichend entwickelte Betrieb hat zur Selbsterhaltung und Förderung der Industrie die Verpflichtung, Praktikanten auszubilden.

2. Bei Auswahl der aufzunehmenden Praktikanten soll man neben Beachtung der Schul- und früheren Praktikantenzeugnisse versuchen, den Persönlichkeitswert abzuschätzen.

3. Den Hochschulpraktikanten ist die Möglichkeit zu geben, die Ausbildung in mindestens sechs Monate vor dem Hochschulbesuch und zweimal drei Monate während der großen Ferien zu teilen. Dabei ist Wechsel der Ausbildungsstelle ratsam.

4. Die Praktikanten sind durch Ausbildungsvertrag der Arbeitsordnung und Betriebsdisziplin zu unterwerfen; sie sind als Arbeiter zu behandeln und durch die Aufsichtsorgane in Zucht zu halten. Die zur Erfüllung des Ausbildungszwecks nötigen Sonderrechte sind genau zu umschreiben.

5. Die Praktikantenausbildung ist durch einen hierzu geeigneten Ingenieur zu überwachen.

6. Die handwerkliche Ausbildung soll planmäßig in Anlehnung an die Lehrgänge des Datsch möglichst an produktiven Arbeiten durch die Lehrlingsmeister erfolgen.

7. Diese handwerkliche Unterweisung soll durch Belehrungen durch den Betriebsingenieur über Arbeitsverfahren und Betriebseinrichtungen und durch Vorträge über Art, Herstellung und Verwendung der verschiedenen Erzeugnisse ergänzt werden.

8. Praktikanten, die noch keinen Fachunterricht hatten, sollen angemessenen Unterricht in Fabrikationskunde und technischem Skizzieren erhalten. Wo hierzu nicht im Werk Gelegenheit ist, sollte eine Praktikantenklasse in der Gewerbeschule eingerichtet werden.

9. Die Praktikanten sind zur Abfassung von Berichten über ihre praktische Tätigkeit anzuleiten und anzuhalten.

10. In Personalakten sind Ausbildungsgang und periodische Beurteilungen über Fleiß, Pünktlichkeit und Führung sowie besondere Fähigkeiten oder Mängel zu bemerken.

11. Den Praktikanten soll eine Verpflegungsbeihilfe in Höhe des Existenzminimums gewährt werden.

12. Bei Austritt sind Ausbildungsbescheinigungen mit Durchschnittsnoten über Fleiß, Pünktlichkeit und Führung auszustellen (nach Vordruck des Datsch).

13. Die Betriebe sollen den Studierenden nach abgelegter Praktikantenzeit in den großen Ferien Gelegenheit zu weiterer Ausbildung in Versuchsräumen, in Betriebs-, Konstruktions- und Verwaltungsbureaus geben, wobei ordentliche Arbeit verlangt und der Tätigkeit entsprechende Bezahlung gewährt werden soll.

[A 379]

BESTIMMUNG DES ZÜNDPUNKTES UNTER DRUCK.[1])

Von J. Tauß, Karlsruhe, und F. Schulte, Gerthe i. W.

Es wurden zwei Versuchsreihen ausgeführt, um den Zündpunkt bei beliebigem Druck zu bestimmen, die erste bei gleichbleibendem, die zweite bei veränderlichem Druck. Die Werte sind sehr verschieden und zeigen, daß sich die Prüfung unter Druck für die Untersuchung von Treibölen und Mischungen im Laboratorium eignet und daß die Bestimmung des Zündpunktes im offenen Tiegel keinen sicheren Anhalt für das Verhalten des Brennstoffes in der Maschine liefert, da sich die Zündpunkte bei verschiedenen Treibölen mit steigenden Druck, entgegen der vielfach vertretenen Ansicht, höchst verschieden ändern. Danach ändern sich auch die entsprechenden Berechnungen der notwendigen Temperatur im Dieselmotor oder des zur Zündung notwendigen Enddruckes der Verdichtung.

Allgemeines über Zündpunktbestimmungen.

Die Bestimmung von Zündpunkten zur Beurteilung von Treibölen hat in den letzten Jahren weite Verbreitung gefunden. Ausgehend von den Versuchsergebnissen, ist es im allgemeinen möglich, über die Verwendbarkeit von Treibölen im Dieselmotor Aufschluß zu erhalten. Die Bestimmung bei gewöhnlichem Druck, d. h. im offenen Tiegel, liefert jedoch nur ein allgemeines Maß, da mit der Änderung des Druckes ganz verschiedene Veränderungen des Zündpunktes einhergehen.

Die Annahme von Wollers und Ehmke[2]) sowie von Alt[3]), daß die absoluten Zündtemperaturen verschiedener Treiböle bei verschiedenem Druck in gleichem, unveränderlichem Verhältnis zu einander stehen, ist nicht richtig. Vielmehr ändern sich die Zündpunkte mit steigendem Druck selbst bei nebeneinander liegenden Fraktionen eines und desselben Öles häufig sehr verschieden. Noch größer sind die Unterschiede beim Vergleich verschiedener Brennstoffe.

Die Unzulänglichkeit der Zündpunktbestimmung im offenen Tiegel geht z. B. daraus hervor, daß ein Steinkohlenteeröl, dessen Zündpunkt im offenen Tiegel durch einen Zusatz von 10 vH leicht zündendem Schieferöl erheblich erniedrigt wurde, bei hohem Druck einen höheren Zündpunkt zeigte, als das reine Steinkohlenteeröl, und daß allgemein der Zündpunkt, der durch Druck im allgemeinen erniedrigt wird, bei manchen Stoffen durch Druck bis zu gewissem Grad dadurch erhöht werden kann.

Bei der Bestimmung im offenen Tiegel ist der Zündpunkt eine eindeutige, physikalisch-chemische Wertzahl der Stoffe. Die Abweichungen in den Messungsergebnissen verschiedener Forscher sind zum Teil darauf zurückzuführen, daß gleichbezeichnete Brennstoffe, wie Benzine, je nach der Herkunft des Erdöles, aus dem sie stammen, sehr verschieden zusammengesetzt sein können, zum Teil darauf, daß geringe Verunreinigungen, die den Zündpunkt bei gewöhnlichem Druck sehr stark beeinflussen, nicht beachtet werden; z. B. zündet chemisch reines (thiophenfreies) Benzol erst bei 662 °C, gewöhnlich noch als rein bezeichnetes (thiophenhaltiges) Benzol schon bei 577 °. Da man diesem Unterschied keine Bedeutung beilegte, galt bisher ein viel zu niedriger Wert für den Zündpunkt von Benzol.

Schwankungen im Zündpunkt eines Stoffes sind auch auf Mängel in der Untersuchungseinrichtung zurückzuführen. Werden die notwendigen Bedingungen der genauen Bestimmung, wie Ausschluß katalytischer Einflüsse, gleichmäßige Temperatur im Tiegel, richtiges Mengenverhältnis beim Zugeben des untersuchten Brennstoffes und Zuführung von Luft oder Sauerstoff, eingehalten, so sind die Ergebnisse auch in ganz verschiedenen Untersuchungseinrichtungen genau gleich und stets wiederholbar.

Damit man die sehr wichtige, gleichmäßige Wärmeverteilung erreicht, ist ein sorgfältiger Einbau des Zündpunkttiegels in einem mit Asbest bekleideten Ofen notwendig, so daß bei Abstellung der Heizflamme die Temperatur nur um 2 bis 3 °C in der Minute sinkt. Weiter wird die Sicherheit und Genauigkeit der Messung dadurch erhöht, daß man den Zündpunkt nicht, wie bisher, bei steigender, sondern bei sinkender Temperatur ermittelt. Man erhitzt den Tiegel unter Zugabe von Brennstoff von 50 zu 50 °, bis die Zündung eintritt, und läßt ihn dann abkühlen. Während der Abkühlung wird der genaue Zündpunkt festgestellt.

Der Hohlraum im Zündpunktprüfer ist bei vielen Einrichtungen so klein, daß man, besonders bei der Bestimmung in Luft, wegen der Unmöglichkeit, die Mengenverhältnisse richtig einzuhalten, sehr unsichere Werte erhält. Bewährt hat sich ein Hohlraum von 25 cm³ Inhalt, durch den 200 bis 300 cm³/min Luft oder 70 bis 80 cm³/min Sauerstoff geleitet werden, und bei dem die Zugabe eines Tropfens von 15 bis 30 mg, wie er von einer Pipette mit enger Spitze abfällt, die richtige Menge ist.

Bei einer den Zündpunkt etwa um 30 bis 50 ° überschreitenden Temperatur zündet der Brennstoff meist unmittelbar, d. h. $^1/_{20}$ bis $^1/_{50}$ s nach der Aufgabe. Mit sinkender Temperatur wird die Zeitspanne vom Aufgeben des Brennstoffes bis zum Eintreten der Zündung, die man als Zündverzug bezeichnet, größer. Der Zündverzug bei der niedrigsten Temperatur, bei der überhaupt noch Zündung eintritt, d. h. beim Zündpunkt, ist sehr verschieden und kann bis zu 5 s und mehr betragen. Wie Hawkes[4]) bei seinen Versuchen feststellte, verläuft der Zündverzug bei Zündung unter Druck ähnlich.

Für die Zündung entscheidend sind die chemische Zusammensetzung des Brennstoffs und die vor der Zündung erfolgenden chemischen Vorgänge, deren Verlauf bei verschiedenen Drücken

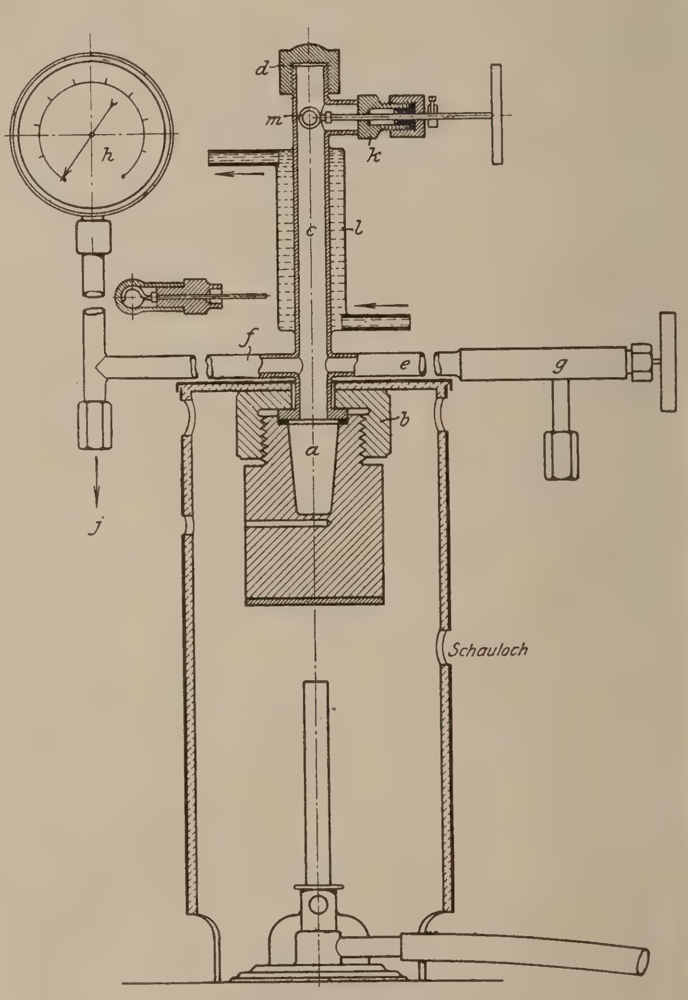


Abb. 1. Zündpunktbestimmung unter Druck. Versuch A.

und Temperaturen verschieden ist. Die physikalischen Bedingungen, wie Feinheit der Verteilung, Durchmischung usw., haben keinen unmittelbaren Einfluß auf die Temperatur der Zündung, sondern ändern nur die Vollständigkeit und die Schnelligkeit der Verbrennung[5]).

Die chemischen Vorgänge vor der Zündung sind sehr verwickelt und infolge der Schnelligkeit des Vorganges sehr schwierig zu erforschen. Daß die bisherigen Ansichten unzureichend sind, beweisen mehrere auffallende Erscheinungen, die man dadurch nicht erklären kann; z. B. ist der Zündpunkt in Sauerstoff nicht immer niedriger als in Luft, vielmehr zünden manche Stoffe in Sauerstoff erst bei höherer Temperatur als in Luft. Weiter ist der Zündpunkt in Sauerstoff nicht immer ebenso

[1]) Aus der Dissertation „Beiträge zur Kenntnis der Verbrennungsvorgänge im Dieselmotor". Schulte, Karlsruhe 1924.

[2]) Wollers u. Ehmke, Krupp'sche Monatshefte 2. Jahrg. Jan. 1921.

[3]) Alt, Z. Bd. 67 (1923) S. 686.

[4]) Hawkes, „Engineering" Bd. 110 (1920) S. 749.

[5]) Vergl. Wartenberg, Z. Bd. 68 (1924) S. 153, und Haber u. Wolf Z. f. angew. Chem. Bd. 86 (1923) S. 373.

hoch, wie der in Luft von 5 at, wo der Partialdruck des Sauerstoffs dem von reinem Sauerstoff gleich ist. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Zündpunkten sind sehr verschieden und wachsen mit der Größe des Moleküls und dem Gehalt des Brennstoffs an ungesättigten Verbindungen. Weiter ist die Empfindlichkeit des Zündpunktes mancher Stoffe auffallend, die so weit geht, daß schon Schwankungen des Barometerstandes den Zündpunkt erheblich verschieben, und daß manche Stoffe, z. B. Buttersäureanhydrid und Valeriansäureanhydrid, in Luft zweierlei Zündpunkte haben. Buttersäureanhydrid zündet in Luft zuerst bei 320 °C mit einem Zündverzug von 2 bis 3 s. Über 322 °C tritt dann keine eigentliche Zündung, sondern nur stille Verbrennung ein. Erst über 350 ° erfolgt wieder eine Zündung mit etwa 1 s Zündverzug.

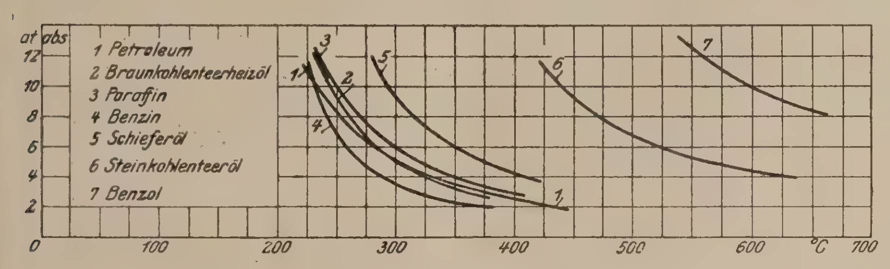


Abb. 2 Zusammenstellung der Druckversuche A.

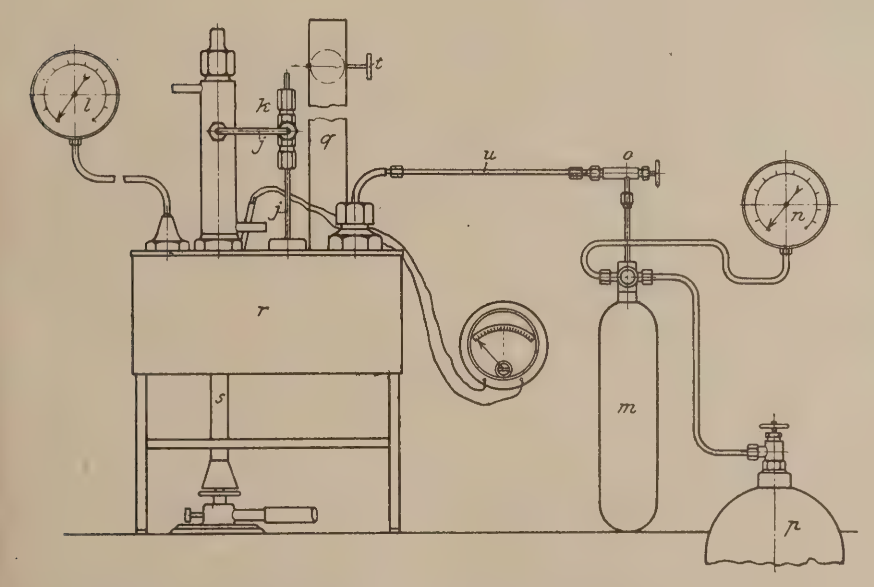


Abb 3. Versuchsanordnung für Zündpunktbestimmung unter Druck. Versuch B.

Diese und andre Erscheinungen lassen sich nach Tausz mit der Entstehung von Primärstoffen, und zwar Moloxyden (Peroxyden) erklären, die, obwohl die Zeit so kurz ist, daß keine weitgehende Zersetzung oder vollständige Verdampfung des Brennstoffs vor der Zündung eintreten kann, doch eine bedeutende Rolle spielen, da sie schon in ganz geringen Mengen durch ihren plötzlichen Zerfall (Verpuffung) sehr stark wirken[1]).

Zündpunktbestimmung unter Druck.

Die Bestimmung des Zündpunktes im offenen Tiegel ist, wie erwähnt, wegen der sehr verschiedenen Veränderung des Zündpunktes mit steigendem Druck, und da die Zündung in der Maschine bei hohem Druck erfolgt, kein sicheres Kennzeichen für die Verwendbarkeit eines Treiböles im Dieselmotor. Sie ist insbesondere bei der sehr wichtigen Brauchbarmachung von ungeeigneten Brennstoffen, wie Steinkohlenteeröl, durch Zusätze wertlos, da eine Erniedrigung des Zündpunktes bei gewöhnlichem Druck im Motor bei hohem Druck sogar in eine Erhöhung des Zündpunktes umschlagen kann. Es wurde deshalb versucht, die Bestimmung unter Druck auszuführen, und zwar wurden zwei Einrichtungen verwendet. Bei der ersten (Versuche A) erfolgt die Zündung bei unveränderlichem Druck ohne Zerstäubung, bei der zweiten (Versuche B) wird das Öl mit Druckluft eingespritzt, so daß die Vorgänge vor der Zündung wie in der Maschine bei veränderlichem, rasch ansteigendem Druck erfolgen.

[1]) Die chemischen Vorgänge vor der Zündung, die bisherigen Anschauungen und die auf Grund unserer Versuche gewonnene neue Ansicht werden in den „Mitteilungen des chem.-techn. Instituts der Techn. Hochschule, Karlsruhe", Verlag Knapp, Halle a. S., ausführlich besprochen. Dort werden auch die Zündpunkte der verschiedensten Stoffe im offenen Tiegel und unter Druck sowie die verschiedenen Geräte zu ihrer Bestimmung zusammengestellt und ausführlich beschrieben.

Versuche A (ohne Zerstäubung).

Den Aufbau des verwendeten Zündpunktprüfers zeigt Abb. 1. Auf den Zündblock *a* wird das Einführungsrohr *c* mit Hilfe einer Überwurfmutter *b* gasdicht aufgeschraubt. Das Einführungsrohr kann am oberen Ende mittels der Kappe *d* verschlossen werden. Leitung *f* führt zum Manometer *h* und zum Expansionsventil *i*. Im Anschluß *e* ist das Luftzuführventil *g* befestigt. Am oberen Ende des Rohres *c* wird in einen passenden Stutzen eine Stopfbüchsenverschraubung *k* eingesetzt, die eine Spindel mit einer Drahtöse *m* führt. Der Zündpunkttiegel hat noch eine Bohrung kurz unterhalb seines Bodens, in welche das Thermoelement eingeführt wird. Zum Schutz gegen die Einwirkung der Flammengase wird der Boden des Zündblocks mit einer Asbestscheibe isoliert. Das Einführungsrohr *c* ist mit einem Kühlmantel *l* versehen. Um eine gleichmäßige und langsame Abkühlung zu erzielen, hängt man den Zündblock in einen von innen mit Asbest ausgekleideten Blechmantel.

Der zu untersuchende Brennstoff wird in Glaskügelchen von etwa 0,25 cm³ Inhalt eingeschlossen. Die Kapillare des Glaskügelchens darf nicht zugeschmolzen werden, weil sonst der Versuch häufig mißlingt, da ein zugeschmolzenes Glaskügelchen oft nicht platzt.

Der Zündblock wird auf eine bestimmte Temperatur gebracht, die Kühlung des Einführungsrohres in Gang gesetzt und das gefüllte Glaskügelchen auf die in wagerechte Stellung gebrachte Drahtöse *m* gelegt. Nach Verschluß des Einführungsrohres wird mit Hilfe des Ventils *g* die Vorrichtung mit Luft von bestimmtem Druck gefüllt. Nach Abschluß des Ventils und bei sinkender Temperatur des Zündblocks läßt man durch Drehen der Drahtöse in senkrechte Stellung das Glaskügelchen in den Tiegel fallen. Ist eine Zündung eingetreten, was an dem Ausschlag des Manometerzeigers zu erkennen ist, dann wird die Verschlußkappe *d* abgenommen und das Innere mit einem kräftigen Luftstrom ausgeblasen. Bei etwas niedrigerer Temperatur und gleichem Druck werden dann solange Versuche durchgeführt, bis die niedrigste Temperatur ermittelt ist, bei welcher noch eine Zündung eintritt.

In dieser Vorrichtung wurden untersucht: Benzin, Benzol, Petroleum, Paraffin, Braunkohlenteeröl, Schieferöl und Steinkohlenteeröl.

Wie Abb. 2 zeigt, verlaufen die Zündpunktkurven reiner aliphatischer Stoffe sehr ähnlich und nähern sich schon bei 12 at Druck der Temperatur von 200 °. Schieferöl zündet schon höher. Den höchsten Zündpunkt hat, wie schon aus Zündpunktbestimmungen unter gewöhnlichem Luftdruck bekannt ist, das Benzol. Bedeutend tiefer zündet das Steinkohlenteeröl.

Da bei diesen Versuchen der Brennstoff nicht zerstäubt wurde und der Druck unveränderlich war, können die Ergebnisse dieser Messungen das Verhalten der Brennstoffe im Dieselmotor noch nicht kennzeichnen. Um den Verhältnissen im Dieselmotor näher zu kommen, mußte versucht werden, den zu untersuchenden Brennstoff in möglichst feiner Verteilung zur Zündung zu bringen. Bei den folgenden Versuchen wurde auch der Zündverzug ausgeschaltet und der Druck so gewählt, daß die Zündung sofort nach dem Einspritzen eintrat.

Versuche B.

Die Versuchseinrichtung für diesen Zweck ist in Abb. 3 bis 5 dargestellt. In den Eisenblock *a* sind das Einführungsrohr *b* und der eigentliche Zündblock *f* eingeschraubt. Das Einführungsrohr *b* kann mittels einer Kappe *d* verschlossen werden und hat einen Wassermantel *e* zur Kühlung. Die zugeführte Druckluft wird im Block *a*, bevor sie in das Einführungsrohr *b* kommt, vorgewärmt. Damit die verbrannten Gase nicht in den Zwischenbehälter *m* gelangen können, ist in der Zuleitung ein Kugelrück-

schlagventil *v* angeordnet. Ferner hat der Block *a* noch einen Anschluß, der zum Manometer *l* führt. Die ganze Vorrichtung ist in einen mit einem Abzugskamin *q* versehenen, innen mit Asbest ausgekleideten Kasten *r* eingeschlossen, der eine entsprechende Öffnung unterhalb der Zündbombe für den Heizbrenner *s* enthält.

Der Zwischenbehälter *m* für die Einblaseluft war so groß gewählt, daß die Spannung der Druckluft beim Füllen des Zündpunktprüfers mit Druckluft nur um etwa 0,2 bis höchstens 0,3 at sank. Der Druck im Zwischenbehälter wurde mit dem Manometer *n* gemessen. Zwischen dem Zwischenbehälter und dem Zündpunktprüfer war das Einblaseventil *o* eingebaut, welches sich nach einer geringen Drehung genügend weit öffnet, um den Zündpunktapparat fast augenblicklich mit Druckluft füllen zu können. Der Zwischenbehälter wurde aus dem Druckluftbehälter *p* gefüllt.

Um die Temperatur zur Eichung des Thermoelementes zu messen, wurde zunächst die Düse *h* aus dem Einblaserohr ausgeschraubt und nach Erhitzen des Zündpunktprüfers die Heizung abgestellt sowie die Kaminklappe *t* geschlossen. Die Temperatursenkung betrug etwa 3 °C in der Minute. Durch ein in das Einblaserohr bis auf den Boden des Zündblockes gestecktes Thermometer wurde die Temperaturabnahme gemessen und gleichzeitig die Angaben des Millivoltmeters aufgeschrieben. Da der herausragende Faden des Quecksilberthermometers die Temperatur des Einblaserohres, also des Kühlwassers, von rd. 12 bis 15 °C hatte, mußte bei der Eichung die Fadenkorrektion des Quecksilberthermometers berücksichtigt werden.

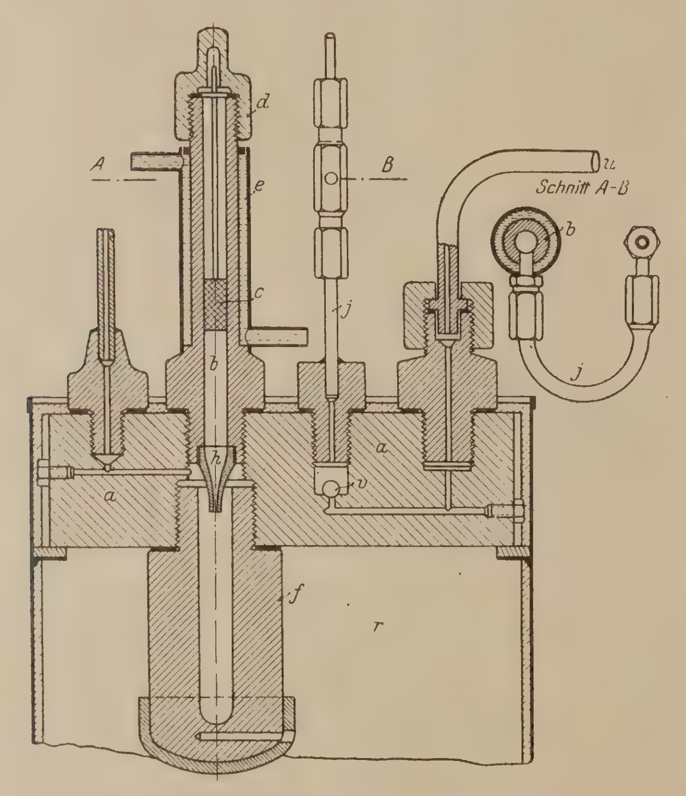


Abb. 4 und 5. Schnitt durch den Zündpunktapparat.

Die Temperatur im oberen Drittel des Zündblocks war, nach ausgeführten Messungen, bei der oben erwähnten Abkühlung von 3 °C in der Minute nur etwa 2 bis 3 ° geringer als die Temperatur am Boden des Zündblockes, die mit dem Thermoelement gemessen wurde. Ging die Abkühlung rascher von statten, dann stieg der Temperaturunterschied gegenüber dem Boden des Zündblockes bis auf 10 °.

Ob die Vorwärmung der zugeführten Druckluft genügte, wurde folgendermaßen geprüft: Die Vorrichtung wurde bis auf etwa 500 °C erhitzt, dann die Heizung abgestellt und der Kamin geschlossen. Die Kühlung des Einblaserohres war im Gange, und in das Einblaserohr wurde bis zur Mündung in die Umführleitung je ein Thermometer eingeführt. Die Quecksilberkugel war bis auf die der Umführleitung zugewandte Seite mit Asbest isoliert, damit sich das Quecksilber nicht an den Wänden des Einblaserohres abkühlte. Dann wurde ein mittelstarker Luftstrom durch den Eisenblock und die Umführleitung in das Einblaserohr geblasen und gleichzeitig die Temperatur im Zündblock und die der strömenden Luft gemessen. Bei einer Temperatur von 400 °C

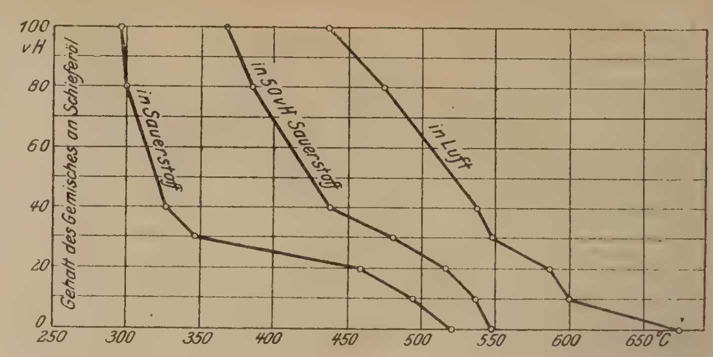


Abb. 6. Zündpunkte von Mischungen von Schieferöl in Steinkohlenteeröl bei 1 at. Versuche in getrocknetem Sauerstoff, 50 vH-Sauerstoff und Luft.

im Zündblock ergab sich eine um etwa 10 bis 12 ° niedrigere Temperatur für die einströmende Luft. Bei 200 ° im Zündblock waren die Unterschiede wesentlich größer, und zwar die Temperatur der Luft etwa 15 °C niedriger als im Zündblock. Die Vorwärmung reichte also vollständig aus.

Es soll die Zündtemperatur von Steinkohlenteeröl bei 20 at abs bestimmt werden. Der Zwischenbehälter wird auf 20,2 at abs aus dem Druckluftbehälter *p* gefüllt. Der Zündpunktapparat wird auf 450 °C erhitzt und gleichzeitig das Einblaserohr *b* durch fließendes Wasser gekühlt. Die Heizung wird sodann abgestellt und der Kamin verschlossen. Man wartet dann, bis sich die Einrichtung langsam abzukühlen beginnt.

Nach Abschrauben der Verschlußkappe *d* werden etwa 1 bis 2 cm³ Steinkohlenteeröl auf die eingeführte Drahtgeweberolle *c* mittels einer Pipette zugegeben; dann wird das Einblaserohr verschlossen und die Vorrichtung durch eine kurze Drehung des Ventils *o* mit Druckluft von 20,2 at abs gefüllt.

Die eintretende Zündung macht sich durch ein kurzes ruckweises Ausschlagen des Zeigers am Manometer *l* bemerkbar. Die Verbrennungsgase werden dann durch das Ventil ins Freie abgelassen, die Verschlußkappe wird geöffnet und nach Herausziehen der Drahtgeweberolle wird der Zündblock mit einem kräftigen Luftstrom ausgeblasen, um die letzten Verbrennungsprodukte zu entfernen.

Derselbe Versuch wurde bei 425 °C wiederholt, wobei eine Zündung eintrat. Beim nächsten Versuch bei 400 °C trat keine Zündung mehr ein. Jetzt wurden mehrere Versuche in dem Bereich von 400 bis 425 ° durchgeführt, die als endgültigen Zündpunkt 418 ° ergaben.

Auf die gleiche Art und Weise wurde derselbe Brennstoff bei andern Drücken untersucht.

Anfänglich wurden Versuche ohne die Düse *h* durchgeführt. Die erhaltenen Werte wichen jedoch so stark voneinander ab, daß eine Abänderung der Einrichtung notwendig erschien. Beim Einblasen des Öls ohne Düse bleibt nämlich ein großer Teil davon in dem Raum zwischen dem Einblaserohr und dem Zündblock hängen. Nach Einbau der Düse *h* hörte die Streuung der Ver-

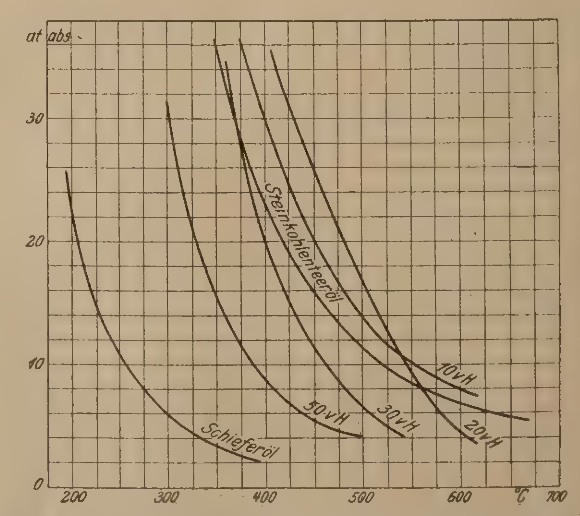


Abb. 7. Zusammenstellung der Versuche B mit Steinkohlenteeröl und Schieferöl sowie Mischungen von 10, 20, 30 und 50 vH Schieferöl in Steinkohlenteeröl.

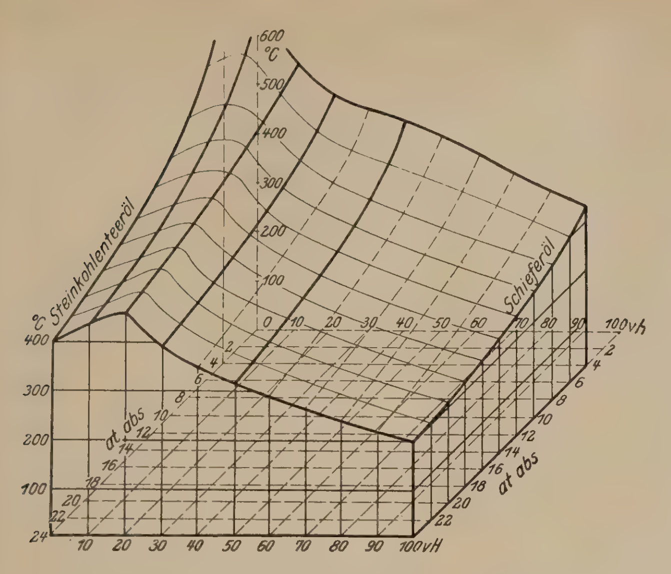


Abb. 8. Zündpunkte von Mischungen von Schieferöl mit Steinkohlenteeröl.

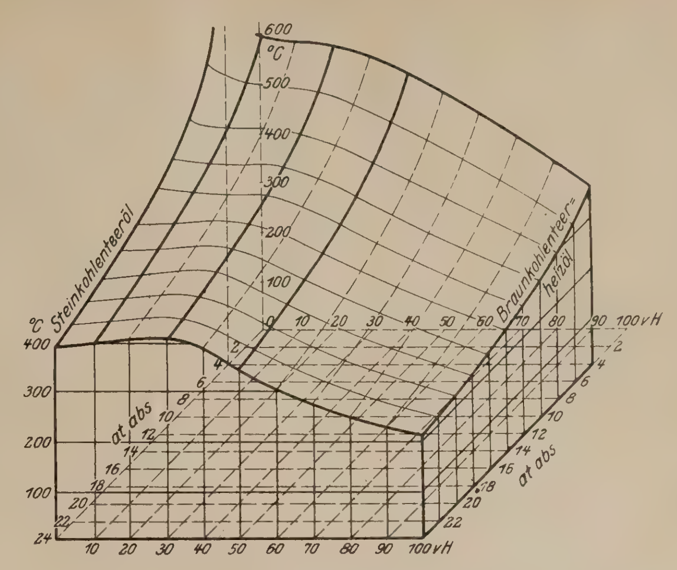


Abb. 10. Zündpunkte von Mischungen von Braunkohlenteeröl mit Steinkohlenteeröl.

suchswerte auf, und bei Wiederholung der Versuche wurden stets die gleichen Werte erhalten.

Nach einer Reihe von Versuchen müssen der Zündblock und die Düse herausgeschraubt werden, damit man die bei der Zündung nicht vollständig verbrannten Kohlenteilchen, die mitunter fest an den Wandungen haften, entfernen kann.

Ergebnisse der Versuche.

Berücksichtigt man die Kürze der Zeit, in welcher die Entzündung des Öles in der Dieselmaschine eintreten muß, sie beträgt bei schnellaufenden Maschinen weniger als $^1/_{50}$ s, dann ist nicht anzunehmen, daß der Entzündung eine wesentliche Verdampfung des Öles vorausgehen kann; vielmehr verdampft im günstigsten Fall nur die äußerste Schicht eines Tröpfchens und der Dampf mischt sich mit der umgebenden Luft und entzündet sich bei entsprechender Temperatur. Die dadurch hervorgerufene Temperatursteigerung entzündet dann die gesamte Masse des Brennstoffes. In der Nähe des Zündpunktes ist zumeist die Temperatur nicht hoch genug, um eine augenblickliche Zündung einzuleiten.

Mischt man Steinkohlenteeröl mit Schieferöl in verschiedenen Verhältnissen, und untersucht man die Mischung in dem Mooreschen Zündblock bei gewöhnlichem Luftdruck, so zündet mit zunehmendem Gehalt an Schieferöl die Mischung immer niedriger, s. Abb. 6. Die Abbildung zeigt auch, wie wenig die Versuche in Sauerstoff und in Luft übereinstimmen. Bei den Versuchen in Sauerstoff sinkt der Zündpunkt mit zunehmendem Gehalt an Schieferöl zuerst sehr schnell und bei über 40 vH Schieferöl bedeutend langsamer; bei den Versuchen in Luft sinkt dagegen der Zündpunkt gleichmäßiger. In 50 vH-Sauerstoff verläuft die Zündpunktkurve nicht etwa als Mittel zwischen beiden andern für Sauerstoff und für Luft, sondern stimmt fast nirgends mit den beiden andern Kurven überein und läßt nur eine kleine Annäherung an die Kurve für Sauerstoff erkennen.

Werden von diesen Mischungen Zündpunkte unter Druck, und zwar nach den Versuchen *B* bestimmt, so sinken die Zündpunkte mit zunehmendem Gehalt an Schieferöl bei einem bestimmten Druck nicht gleichmäßig, sondern mit großen Unterschieden, gegenüber den für 1 at bestimmten Zündpunkten. In Abb. 7 sind die Zündpunkt-Druckkurven der Mischungen und von reinem Schieferöl und Steinkohlenteeröl aufgetragen. Werden zu Steinkohlenteeröl, das bereits sehr hoch zündet, 10 vH Schieferöl gemischt, so verläuft die Kurve der Zündpunkte bei wechselndem Druck nicht etwa unterhalb der Kurve für reines Steinkohlenteeröl, sondern schneidet die Kurve für reines Steinkohlenteeröl, so daß bei höherem Druck der Zündpunkt der Mischung höher als der des reinen Steinkohlenteeröls ist.

Bei 20 vH Zusatz schneidet die Zündpunktkurve die Kurve für Steinkohlenteeröl bei 8 at abs und verläuft von da ab noch höher als die der Mischung von 10 vH. Erst von 30 vH Schieferöl ab bleibt auch bei höherem Druck die Zündtemperatur der Mischung unterhalb der des reinen Steinkohlenteeröls. In einem dreiachsigen Koordinatensystem, Abb. 8, lassen sich diese Unterschiede besser verfolgen. Aus der Abbildung kann man für jeden Druck die entsprechende Zündpunktkurve erkennen.

Mischungen zwischen Braunkohlenteeröl und Steinkohlenteeröl zeigen, wenn auch nicht so auffallend, dieselben Erscheinungen, Abb. 9 und 10. Auch bei diesen Mischungen ist ein Zusatz von mehr als 30 vH Braunkohlenteerheizöl, dem leichter verbrennenden Stoff, zu Steinkohlenteeröl nötig, um eine Senkung der Zündtemperatur unter Druck zu erreichen.

Verwendet man Mischungen eines leichter verbrennlichen Stoffes mit einem schwer verbrennlichen Stoff, z. B. mit An-

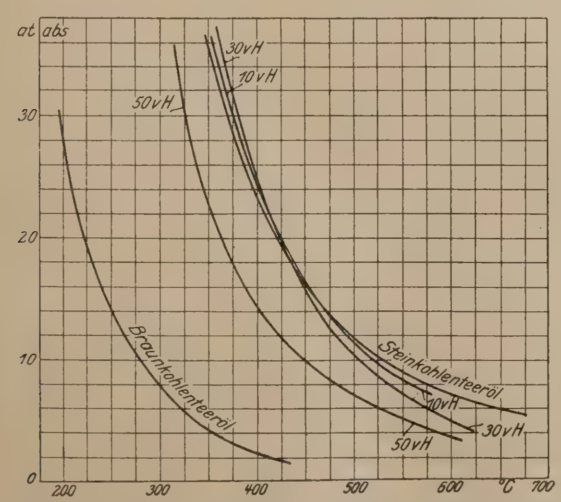


Abb. 9. Zusammenstellung der Druckversuche B mit Braunkohlenteer-Heizöl und Steinkohlenteeröl und Mischungen von 10, 30 und 50 vH Braunkohlenteer-Heizöl in Steinkohlenteeröl.

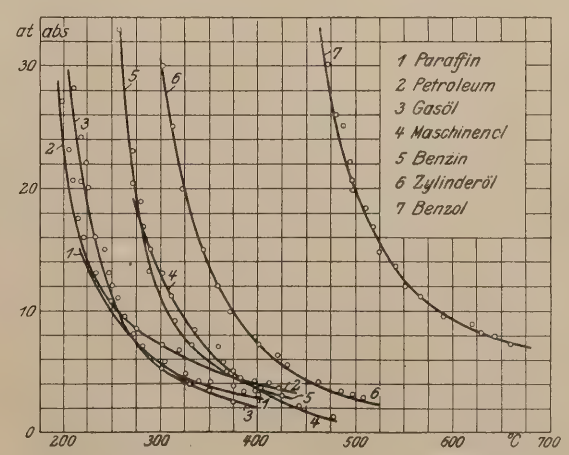


Abb. 11. Zusammenstellung der Druckversuche B.

thrazenöl, in Dieselmotoren, so stellt man fest, daß ein Zusatz von mindestens 50 bis 60 vH des leichter zündenden Stoffes zum Anthrazenöl notwendig ist, um den Betrieb aufrecht erhalten zu können.

Die bei den Versuchen *B* erhaltenen Ergebnisse stimmen auch mit praktischen Versuchen am Motor überein; mit Hilfe dieser Einrichtung ist es also möglich, die Verwendbarkeit von Ölen oder Mischungen im Dieselmotor im Laboratorium besser als mit den gewöhnlichen Zündpunktprüfern zu beurteilen. Auf Grund von Abb. 11 muß der Annahme Alts[1]), daß in der Dieselmaschine im Augenblick der Zündung eine etwa 100 °C höhere Temperatur als im offenen Zündpunktprüfer herrscht, widersprochen werden. Nach Alt soll der Zündpunkt von Benzol, der im offenen Tiegel (Sauerstoffstrom) 570° beträgt, in der Maschine bei 720° liegen. Abb. 11 ergibt jedoch, daß der Zündpunkt von Benzol bei Drücken von 20 bis 40 at, wie sie in der Maschine herrschen, zwischen 450 und 500 °C liegt. Auch wenn man wegen des Zündverzugs eine etwas höhere Temperatur annehmen müßte, könnte sie doch nicht entfernt 720° betragen. Ebenso ist nach Abb. 11 die von Alt angegebene Zündtemperatur von Benzin in der Maschine viel zu hoch.

Diese Beispiele mögen als Beweis genügen, daß die auf rechnerischem Wege bestimmte Zündtemperatur in der Maschine nicht richtig ist. Man kann diesen Wert sowie den erforderlichen Enddruck der Kompression auch kaum berechnen, weil sich die Zündtemperatur mit steigendem Druck bei verschiedenen Brennstoffen sehr verschieden ändert. [A 420]

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 686 ff.

EISENBAHNTECHNISCHE TAGUNG.

22. bis 27. September 1924 in Berlin.

Die Eisenbahntechnische Tagung, die vom Verein deutscher Ingenieure in enger Verbindung mit der Deutschen Reichsbahn veranstaltet wird, findet durchweg ein außergewöhnlich lebhaftes Interesse, wie die vorliegenden Anmeldungen zeigen. Die Fachkreise des Inlandes und Auslandes haben sich bereits zur Tagung angesagt, und es wird ein sehr starker Besuch zu verzeichnen sein. Das nunmehr zusammengestellte Vortragsprogramm bringt eine erlesene Auswahl der heute die Fachwelt bewegenden Fragen, für die, ausgehend von dem neuesten Stande, Wege zur weiteren Entwicklung und vor allem zur wirtschaftlicheren Ausgestaltung in Berichten erster Fachmänner gezeigt und auf der Tagung im Kreise der Fachwelt erörtert werden sollen. Wir geben hier einen kurzen Umriß der Vortragsfolge.

Der erste Tag bringt Berichte mit einer umfassenden Aussprache über die Organisation des Gütermassenverkehrs unter Verwendung von Großgüterwagen mit Schnellentladung sowie über den wirtschaftlichen Nutzen der Massenbeförderung unter besonderer Berücksichtigung der im Ausland gewonnenen Erfahrungen; die Frage der geschlossenen Beförderung vom Aufkommen bis zum Verbraucher wird ihrer Bedeutung entsprechend eingehend erörtert werden. Eine gründliche Behandlung ist der so wichtigen Entwicklung und wirtschaftlichen Bedeutung der Eisenbahnbremsen gesichert, ebenso der durch den Massengüterverkehr bedingten Ausgestaltung des Oberbaues und der Brücken.

Der zweite Tag befaßt sich mit dem neuzeitlichen Lokomotivwesen und seiner weiteren Entwicklung; zu erwähnen sind Sonderberichte über wärmewirtschaftliche Bestrebungen im Lokomotivbau, über Dampfkondensation bei Lokomotiven, über Diesellokomotiven, Normung, Typung und Spezialisierung im Lokomotivbau und schließlich über Vorrats- und Austauschbau bei Lokomotiven; weiter über eiserne Feuerbüchsen, schraubenförmige Rauchröhren und Kohlenstaubfeuerung; auch die Wirtschaftlichkeit des Sauggasbetriebes wird eingehend erörtert werden.

Der dritte Tag ist einer interessanten Bremsversuchsfahrt mit einem 90achsigen D-Zug und auf dem Rückwege von dieser Fahrt dem Besuch des Ausstellungsparkes in Seddin vorbehalten.

Der vierte Tag behandelt die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Zugförderung; hier werden die bemerkenswerten Erfahrungen des Auslandes stark hervortreten und einen Maßstab dafür geben, was in Deutschland möglich und anzustreben ist. Die elektrischen Stellwerk- und Signalanlagen werden eingehend behandelt und auch die neuesten Erfahrungen des Auslandes besprochen. Für diesen Tag, wie auch für die übrigen Tage, steht außergewöhnlich reichhaltiger und wertvoller Berichtstoff zur Verfügung und ebenso ein Vergleichsmaterial in den Ausstellungen.

Der fünfte Tag bringt Neues aus dem Eisenbahn-Werkstättenwesen und neben Sonderberichten auch einen Filmvortrag über Lokomotivvermessung. Der sechste Tag umfaßt Berichte und Aussprachen über neuzeitliche Verschiebe- und Personenbahnhöfe, über Wirtschaftlichkeitsfragen im Eisenbahnbetrieb und schließlich über Unterwassertunnel. Bemerkt sei, daß die das Rangierwesen und seine wirtschaftlichere Gestaltung stark berührende Frage der Gleisbremsen besonders behandelt wird.

Wert ist darauf gelegt, daß sich bei sämtlichen Berichtsgegenständen neben inländischen auch namhafte ausländische Fachmänner an der Erörterung beteiligen. Es handelt sich nicht darum, etwa in Ausschüssen Richtlinien oder Abgrenzungen zu beschließen oder wirtschaftspolitische Fragen zu besprechen; vielmehr soll ausschließlich dem schaffenden Ingenieur und dem an dessen Arbeit beteiligten Betriebstechniker Anregung und Gelegenheit zu fortschrittfördernder Aussprache gegeben werden. Dieser Leitgedanke ist es, der dieser Veranstaltung in Fachkreisen in so außergewöhnlichem Umfang Interesse zu erwecken berufen war, und der für die Gestaltung der beiden mit der Tagung verbundenen Ausstellungen maßgebend ist. Auch diese dienen in erster Linie der Anregung für den schaffenden Ingenieur und den im praktischen Leben stehenden Betriebsmann; sie sind also vor allem technische Ausstellungen, nicht aber prunkvolle Schaustellungen.

Der Ausstellungspark auf dem Verschiebebahnhof Seddin wird ein sehr umfassendes Anschauungsmaterial für den technischen Fortschritt bieten. Um nur einige Beispiele zu erwähnen, kann mitgeteilt werden, daß allein etwa 40 Dampflokomotiven für Normal- und Schmalspur sowie für Sonderzwecke zu sehen sein werden, ferner einige feuerlose und mehrere Druckluftlokomotiven, etwa zehn verschiedene elektrische Lokomotiven sowie sechs verschiedene Diesellokomotiven; dazu kommen einige Motorlokomotiven, auch solche für Sauggasbetrieb, schließlich eine ganze Reihe von Zugmaschinen und Sonderantriebfahrzeugen für Rangierzwecke. Die verschiedensten Triebwagen werden in einer bemerkenswerten Zusammenstellung vertreten sein und zum größten Teil im Betriebe vorgeführt werden; hier sind die Sauggastriebwagen besonders zu erwähnen. Auch eine neue Turbolokomotive ist für die Ausstellung angemeldet.

An Güterwagen sind zu erwähnen: Spezialwagen für den Massenverkehr, Großgüterwagen, Schnellentlader, Sonderkesselwagen für Normal- und Schmalspur in mannigfaltigen Ausführungen. Auch an Personenwagen, D-Zugwagen, Schlaf- und Speisewagen werden bemerkenswerte Ausführungen zu sehen sein. Die Reichsbahn wird weiterhin ihre Sonderwagen für den inneren Betrieb (Gießereiversuchs-, Unterrichts-, Lokomotivmeß-, Bremsversuchs- und Tunneluntersuchungswagen) den Besuchern der Ausstellung in Seddin zeigen.

Das Rangierwesen ist in der Ausstellung weitgehend berücksichtigt; neben den verschiedensten Anlagen und Einrichtungen für den Kleinrangierbetrieb ist auch der neuzeitliche aufs höchste gesteigerte Großbetrieb vertreten und wird z. B. an der in Seddin eingebauten Thyssenschen Gleisbremse gezeigt. Außerdem wird eine ganze Reihe neuzeitlicher Weichenkonstruktionen wie auch ein Bogengleis eingebaut ausgestellt werden. Auch die maschinelle Gleisverlegung wird im Betriebe vorgeführt werden.

Über die Werkzeugmaschinen für Sonderzwecke des Eisenbahnwesens wie auch über elektrische Stellwerk- und Signalanlagen, über Stromzuführungsanlagen, Umformer, Schweißmaschinen und Hilfsmaschinen für den Eisenbahnbetrieb kann hier im einzelnen mit Rücksicht auf den Platz weiteres nicht gesagt werden.

Auch die Ausstellung in der Technischen Hochschule, die die Problemstellung und deren wirtschaftliche Lösungen in den Vordergrund rückt und auch solche Entwürfe zuläßt, die im Augenblick noch nicht verwirklicht werden können, wird außerordentlich Interessantes bieten und namentlich auch hervorragende Modelle aus allen Gebieten des Eisenbahnwesens zeigen. Gerade dadurch, daß hier dem schaffenden Ingenieur Gelegenheit gegeben ist, in seiner Sprache, der bildlichen Darstellung, zum Fachgenossen zu sprechen und seine Gedanken und Entwürfe zur Erörterung zu stellen, ist diese Ausstellung besonders bemerkenswert.

In der Technischen Hochschule werden auch in großem Umfange technische Filme aus dem Eisenbahnwesen selbst sowie aus solchen Gebieten der Fertigung, die besonders für Eisenbahnfachleute in Betracht kommen, während der Nachmittagstunden vorgeführt; diese bilden eine wertvolle Ergänzung der Ausstellung und geben Gelegenheit zur vertieften Behandlung im Zusammenhang mit den Sondervorträgen, die abends in der Technischen Hochschule stattfinden.

Schließlich sei erwähnt, daß Firmen, die auf dem Gebiete des Eisenbahnwesens maßgebend arbeiten, sich bereit erklärt haben, den Teilnehmern der Tagung ihre Werke zur Besichtigung zugänglich zu machen; es sind hierfür besonders die letzten Septembertage in Aussicht genommen. [M 400]

UMSTEUERBARE UND NICHT UMSTEUERBARE SCHIFFSDIESELMASCHINEN.

Von M. W. Gerhards, Marineoberingenieur a. D., Kiel.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung der Dieselmaschinengruppe.

Kritische Betrachtung über die Vorteile der nicht umsteuerbaren Schiffsdieselmaschinen mit Umsteuerzwischengetriebe gegenüber den unmittelbar umsteuerbaren Schiffsdieselmaschinen.

Die wichtigsten Voraussetzungen für die Einführung der Verbrennungskraftmaschinen als Schiffsantrieb waren die Möglichkeit der Einstellung der Drehzahl und die Umsteuerbarkeit.

Da es sich im Anfang nur um sehr kleine Anlagen handelte, half man sich durch Wendegetriebe oder Drehflügelschrauben. In beiden Fällen wurde die Drehrichtung des Motors beibehalten. Bei dieser unveränderlichen Drehrichtung wurde dann zum Umsteuern bei Wendegetrieben der Drehsinn der Schraubenwelle geändert, bei Drehflügelschrauben wurde die Steigung der Schraubenflügel für die entgegengesetzte Schubrichtung eingestellt. Beide Arten der mittelbaren Umsteuerung hat man auch bei Schiffsdieselmaschinen für kleine Motorschiffe und Motorsegler angewendet, als die unmittelbare Umsteuerung dieser Maschinen gelöst war. Sie haben sich bis heute in vielen Ausführungen erhalten.

Es würde hier zu weit führen, auf die zahlreichen Bauarten und die sehr wissenswerten Betriebseigenschaften und Betriebserfahrungen mit mechanischen Wendegetrieben oder Drehflügelschrauben näher einzugehen. Für unsre Betrachtung sei hier aber festgehalten, daß Schiffsdieselmaschinen mit mechanischem Wendegetriebe und für Motorsegler wegen ihrer besonders günstigen Eigenschaften beim Segeln und Manövrieren Schiffsdieselmaschinen mit Drehflügelschrauben bis zu 500 WPS in Betrieb sind und mit noch höherer Leistung angeboten werden.

Anlage mit umsteuerbaren Dieselmotoren.

Die Entwicklung der mittelbaren Umsteuerungen konnte aus den verschiedensten Gründen der Leistungssteigerung der Schiffsdieselmaschine nicht folgen. Die allgemein übliche Bauart wurde die umsteuerbare Schiffsdieselmaschine. Da diese Maschinen ohnehin Druckluft zum Einspritzen des Brennstoffs und daher Luftverdichter gebrauchten, lag es nahe, auch zum Anlassen und Manöverieren der Maschinen Druckluft zu verwenden.

Die Schwierigkeiten des Druckluftmanövers liegen hauptsächlich im Luftbedarf und in den Beanspruchungen, welche die Druckluft durch das Abschrecken für die Arbeitszylinder und durch ihren Druck für das Triebwerk beim Anspringen der Maschine zur Folge hat.

Es lohnt sich für diese Betrachtung, kurz auf die Entwicklung dieser Umsteuerung einzugehen und die Bestrebungen zu erwähnen, welche unternommen wurden, um das Druckluftmanöver zu verbessern.

Die vielen Schwierigkeiten, welche beim Betrieb der Luftverdichter anfangs auftraten, hat man durch Verbesserungen der Bauart auf ein annehmbares Maß herabgemindert, so daß die Klagen über die Luftverdichter bei guter Bauart und sachgemäßer Bedienung verstummt sind. Auch die Bauart und Steuerung des Anlaßventils hat im Laufe der Entwicklung Verbesserungen erfahren. Während man früher besondre Schließnocken für erforderlich hielt, sind diese heute durch gute Spindelführung überflüssig geworden. Beachtenswert ist auch die Bauart, wobei man das gesteuerte Anlaßventil dem Bereich des Verbrennungsraumes entzieht und als Zwischenventil steuert. Die Form der Anlaßnocken wird zweistufig ausgebildet, um mit zwei Stufen das Anspringen sicherzustellen und zum Weiterdrehen der Maschine mit einer Stufe eine kleinere Öffnung des Ventils benutzen zu können. Das Anlassen der Viertaktmaschinen im Zweitakt hat man bei Schiffsmaschinen mit der gebräuchlichen Zylinderzahl verlassen, wodurch die Steuerung vereinfacht wurde. An dieser Stelle sei auch auf das gruppenweise Anlassen der Schiffsdieselmaschine hingewiesen; es besteht darin, daß zunächst alle Arbeitzylinder mit Druckluft anlaufen, während nach dem Anspringen und nach dem Erreichen der erforderlichen Kolbengeschwindigkeit die Zylinder in Gruppen auf Betrieb mit Brennstoff umgeschaltet werden. Noch weiter geht man bei der Bauart, wo der Brennstoff schon gleichzeitig mit der Anlaßluft angestellt wird und die Anlaßventile der einzelnen Zylinder sich nach Eintritt der Zündung und nach Erreichen eines bestimmten Gasdrucks im Zylinder selbsttätig schließen. Auch die Entlastungsventile sind hier zu erwähnen. Ferner wird durch Anwendung von sogenannten halben Nocken, die den Nadelhub herabsetzen, oder auch durch die Nadelhubregelung erreicht, daß beim Anlassen zu scharfe Zündungen, die bei anfänglich geringer Kolbengeschwindigkeit auftreten und zu starke Beanspruchungen hervorrufen, vermieden werden. Dasselbe wird mit der Verstellung des Zündzeitpunktes beim Anlassen bezweckt.

Die nachteilige Wirkung der kalten und sich noch dazu ausdehnenden, also abkühlenden Druckluft hat man nicht nur durch äußerste Beschränkung des Verbrauches zu mindern versucht. Es ist leicht erklärlich, daß das erstmalige Anlassen der kalten Maschine die Schattenseiten des Druckluftverfahrens besonders scharf zeigt. Hiergegen hilft vor allem eine nicht zu niedrige Raumtemperatur und das Vorwärmen der Maschine, worauf man viel mehr Wert legen sollte. Am zweckmäßigsten ist es, durch eine Umlaufleitung angewärmtes Wasser durch die Kühlräume zu pumpen. Auch Schmieröl und Brennstoff sollen wirksam vorgepumpt werden. Ein glücklicher Vorschlag ist ferner die Vorwärmung der Anlaßluft. Dieses Verfahren hat nicht nur eine Schonung der Maschine, sondern auch eine wesentliche Herabsetzung des Luftverbrauchs zur Folge.

Noch weiter gehen die Verfahren zur Vermeidung von Anlaßluft im Arbeitsraum. Bei doppeltwirkenden Maschinen liegt es natürlich nahe, nur eine Kolbenseite als Manöverseite mit Anfahrvorrichtung zu versehen. Man hat auch bereits einfachwirkende Maschinen ausgeführt, deren untere Kolbenseite als Manöverseite ausgebildet wird. Vor allem seien hier die Zweitaktmaschinen erwähnt, wo der Anlaßvorgang aus dem Arbeitszylinder in die beiden mit 90° Kurbelversetzung arbeitenden Spülpumpen verlegt ist. Diese Maschinen werden bis zu 360 WPS Leistung ausgeführt. Die Still-Maschine, deren obere Kolbenseite als Verbrennungs-Kraftmaschine arbeitet, während die untere Kolbenseite gleichzeitig Dampfmaschine ist und auch ausschließlich zum Manövrieren dient, soll hier als beachtenswerter Versuch der gänzlichen Entlastung des Motorzylinders von Manöverarbeiten angeführt werden.

Mit den vorstehend erwähnten Bauarten ist die Zahl der Bestrebungen zur Vervollkommnung der unmittelbaren Umsteuerung der Schiffsdieselmaschine noch nicht erschöpft. Der Erfolg dieser Bestrebungen war, daß die unmittelbare Umsteuerung mit Druckluft eine Sicherheit erlangt hat, die den Anforderungen des Betriebes voll genügt. Es hieße die bisherigen schönen Erfolge verleugnen, wenn man sagen wollte, es bestände ein zwingender Grund dafür, dieses Manöververfahren aus Gründen der Betriebsicherheit zu verlassen. Die umsteuerbare Schiffsdieselmaschine manöveriert eher zu schnell als zu langsam, heftiger als eine Dampfkolbenmaschine, und ist Turbinenanlagen besonders in bezug auf den Rückwärtsgang überlegen. Der Zeitverbrauch für das Umsteuern von voll voraus auf voll zurück bleibt unter 20 s, das Anfahren aus der Ruhe unter 10 s.

Andernteils soll damit nicht gesagt sein, daß diese Entwicklung abgeschlossen sei. Wenn schon jedes Manöver auch bei den Vorgängen der Schiffsdieselmaschine nicht gerade gesund war, so trifft dies bei umsteuerbaren Schiffsdieselmaschinen wegen der Verwendung von Druckluft und wegen des Anspringens im verstärkten Maße zu. Lassen sich auch die Beanspruchungen, wie schon gesagt, auf ein erträgliches Maß herabmindern, so bleibt dennoch das Manöver mit Druckluft vom Luftvorrat und vom Ersatz der verbrauchten Luft abhängig.

Ergebnisse des Versuchstandes und von Probefahrten lassen sich nicht ohne weiteres auf den Bordbetrieb übertragen; sie sind nur eine wertvolle und unerläßliche Sicherung, haben aber nicht in allen Fällen verhindern können, daß bei mehreren hundert Manövern, die wohl in jedem Schiffsbetriebe bei Fahrten im Revier vorkommen, den Schiffen einmal wirklich die Druckluft ausging. Der Luftbedarf beim Manöverieren ist von zu vielen wechselnden Umständen abhängig, als daß man den Luftvorrat in Behältern als Grundlage für die Sicherstellung des Manövers ansehen könnte, z. B. von der Geschicklichkeit der Besatzung, nicht nur an der Maschine, sondern auch auf der Brücke, ferner von Temperatur und Reibung der Maschine, von den Strömungswiderständen an der Schraube usw. Man kann es daher leicht verstehen, daß, wenn z. B. 12 Luftbehälter leer gefahren werden, auch Fälle vorkommen, wo 24 nicht ausreichen. Die an die Maschinen angehängten Einblasepumpen so reichlich zu bemessen, daß sie den Luftverbrauch beim Manöverieren ersetzen, hat bei Schiffen auf langer Fahrt seine Grenzen. Außerdem können so angetriebene Luftpumpen selbst bei großem Überschuß der Fördermenge nicht immer die verbrauchte Anlaßluft ersetzen, wenn die Maschine, wie es in der Praxis vorkommt, nur einige Sekunden

im Gang ist; hier ist die fast ruckartige Wirkung des Motorschiffmanövers von Nachteil.

Daneben wendet man sogenannte Hilfskompressoren an, die bei Luftmangel in Betrieb genommen werden. Die Ausführung der Luftanlage ist bei den einzelnen Schiffsanlagen außerordentlich verschieden, ihre Beschreibung würde daher hier zu weit führen, kurz gesagt, bedeutet nicht der Luftvorrat, nicht der Reserve- oder Hilfskompressor, sondern der ausgesprochene Manöverkompressor die Lösung. Dieser muß so betriebsbereit sein, daß er sofort bei notwendig werdendem Manöver ohne Umstände angelassen werden und auf die Luftbehälter pumpen kann, die lediglich als Zwischenbehälter dienen und den Luftbedarf der ersten Manöver decken.

Mittelbar umsteuernde Anlagen.

In letzter Zeit ist die Frage des Manövers mit Motorschiffen wieder etwas in den Vordergrund getreten, zwar nicht dadurch, daß man bei der Entwicklung der unmittelbaren Umsteuerung der Schiffsdieselmaschine festgelaufen wäre, sondern einen andern Fortschritt. Nach dem vorher Gesagten ist es erklärlich, daß man jede Aussicht, von dem Druckluftmanöver freizukommen, besonders für Schiffe, auf deren Manöverfähigkeit ein großer Wert gelegt wird, mit Aufmerksamkeit verfolgt.

Man fordert neuerdings wieder gesteigerte Leistung von Schiffsdieselanlagen. Die Versuche, dieses Ziel durch unmittelbaren Schraubenantrieb mit langsam laufenden umsteuerbaren und doppelt wirkenden Maschinen zu erreichen, sind bekannt. Die glänzenden Erfolge der schnellaufenden U-Bootdieselmaschinen legten jedoch auch den Gedanken nahe, große Leistungen durch Zusammenschaltung schnellaufender Maschinen zu erreichen, zumal das Ziel auf diesem Wege viel näher lag. Die weitgehende Teilung der Gesamtleistung in gleichartige und schnellaufende Betriebseinheiten bietet mancherlei bauliche und betriebstechnische Vorteile. Die niedrigen Maschinen ergeben eine gute Platzausnutzung für die oberen Decks und günstige Stabilitätsverhältnisse. Die Zahl der Schrauben kann man durch Parallelschalten von Maschinen auch bei größten Leistungen in günstigen und gebräuchlichen Grenzen halten. Die geringen Gewichte ergeben auch billige Preise. Außerdem wächst die Betriebsicherheit mit der Zahl der gleichartigen Maschinenanlagen.

Zur Verwendung schnellaufender Dieselmaschinen war es aber erforderlich, die Drehzahl mit Rücksicht auf den Schraubenantrieb herabzusetzen. Als erprobte Mittel standen das Zahnradgetriebe, der hydraulische Transformator und das elektrische Zwischengetriebe zur Verfügung.

Für die Zahnrädergetriebe war zunächst die Frage zu lösen, wie man die Ungleichförmigkeit des Drehmomentes für die Getriebe unschädlich machen könnte. Durch Einschaltung einer elastischen Zwischenwelle hatte man die Ungleichförmigkeiten des Drehmomentes der Dieselmaschinen so weit wie bei Turbinenanlagen ausgeglichen, wie Ausführungen und Erprobungen im Bordbetriebe beweisen. Die elastische Welle federt aber auch den Anlaßvorgang in dem Motor gegenüber dem Schraubenwiderstand ab, so daß die Beschleunigungsdrücke gedämpft werden, wie durch Torsiogramme vor und hinter dem Getriebe nachgewiesen wird. Infolge der Federung der Welle nähert sich also der Anlaßvorgang unter Belastung dem Vorgang des Anlassens ohne Last, was für die Beanspruchung der Maschine sehr vorteilhaft ist. Bei Dieselschiffen mit Rädergetriebe hat sich die elastische Welle im Bordbetriebe gut bewährt, so daß jetzt auch Anlagen im Bau sind, wobei zwei schnellaufende Dieselmaschinen parallel auf ein gemeinsames Rädergetriebe mit Schraube arbeiten. Die Manövergestänge der Maschinen sind miteinander verbunden, so daß beim Anfahren zwölf Zylinder arbeiten. In besondern Fällen läßt sich jede Maschine in der Ruhestellung durch die Bolzen einer sogenannten losen Kupplung abschalten und wieder anschließen.

Die Herabsetzung der Drehzahl der schnellaufenden Maschine und der Schutz des Rädergetriebes gegen das ungleichförmige Drehmoment werden ferner durch eine Vereinigung von Zahngetriebe und Flüssigkeitskupplung in vollkommener Weise erreicht. Dabei ergibt sich der weitere Vorteil, daß die Flüssigkeitskupplung bei parallel oder hintereinander wirkenden Anlagen sehr einfach zum Anschluß einer stillstehenden Dieselmaschine an eine in Betrieb befindliche oder zum Abschalten einer Maschine von zwei laufenden verwendet werden kann, und daß sich bei Anwendung einer besondern Rückwärtskupplung zwischen Dieselmaschine und Rädergetriebe und abwechselndes Füllen und Entleeren der Kupplungen das Manövrieren nicht mehr mittels der Dieselmaschinen, sondern mittels des auf diese Weise geschaffenen Zwischengetriebes ausführen läßt.

Bei diesel-elektrischem Antrieb, der seine Vorläufer in den U-Bootanlagen und hinsichtlich des elektrischen Teiles auch in turboelektrisch angetriebenen Schiffen hat, verwendet man aus praktischen Gründen Gleichstrom und eine weitgehende Teilung der Stromerzeuger. Bei Hintereinanderschaltung der Dynamos gestaltet sich die Spannungsregelung einfach, was in Verbindung mit der Aufteilung der Motorleistung gestattet, die Drehzahl sehr fein einzustellen und schnellaufende, nicht umsteuerbare Dieselmaschinen zu verwenden.

Die beschriebene Entwicklung führt also, mit oder ohne Absicht, hinsichtlich des Manövers auf den Ausgangspunkt zurück, wobei als Zwischengetriebe die hydraulische Kupplung und die elektrische Übertragung zur Verfügung stehen. Bei kleiner und großer Leistung ergibt das Umsteuer-Zwischengetriebe die Befreiung der Maschine vom Druckluftmanöver, also auch einfache Maschinen, die man nur einmalig anzulassen braucht. Dieses Anlassen erfolgt aber ohne Belastung und mit Maschinen von geringem Trägheitsmoment. Nach dem Anlassen ist das Manöver von der Druckluft unabhängig. Zumal für kompressorlose Maschinen ergibt dies eine einfache, leichte und billige Luftanlage, wofür gegenüber den Anlagen mit umsteuerbaren Maschinen und elastischer Welle das Umsteuergetriebe hinzutritt. Der Leerlauf in den Manöverpausen bei stillstehender Schraube erfordert zwar eine sorgfältige Regelung, für kompressorlose Maschinen ist aber auch hier der Fortfall der Einblaseluft besonders wertvoll.

Hydraulische und elektrische Umsteuergetriebe gestatten eine weitere Ausnutzung von baulichen und betriebstechnischen Vorteilen dadurch, daß man nicht nur zwei Maschinen mit einer Schraube parallel, sondern auch hintereinander schalten kann; weitgehendste und geradezu willkürliche Platzausnutzung und Anordnung ohne störende Wellentriebe gestattet fraglos der dieselelektrische Antrieb.

Anlagen mit Umsteuerzwischengetrieben und der Möglichkeit, einzelne Maschinen an- und abzukuppeln, verlangen nur das erstmalige Anlassen einer Maschine mit Luft, während alle andern Maschinen nach Bedarf während des Betriebes zu- und abgeschaltet werden können. Auf diese Weise ist auch in den Manöverpausen ein sparsamer Betrieb mit einer einzigen leerlaufenden Maschine möglich, und man kann weiter eine bestimmte Teilleistung immer mit der gerade erforderlichen Anzahl, aber voll belasteter Maschinen erreichen.

Bei Anlagen mit weitgehender Teilung der Leistung, d. h. mit einer größeren Anzahl gleichartiger Maschinen, die für Zwischengetriebe in Frage kommen, wird der Ausfall eines Zylinders und u. U. sogar einer ganzen Maschine nach außen hin kaum fühlbar. Allerdings hat die Teilung der Leistung neben der größeren Betriebsicherheit auch vermehrte Instandsetzungsarbeiten zur Folge. Doch muß man hierbei berücksichtigen, daß die Gewichte der zu bearbeitenden Teile nicht so groß sind, und daß diese Arbeit durch Normalisierung und Bereithaltung von Ersatzteilen erleichtert werden kann.

Die Zwischengetriebe haben natürlich auch Nachteile. Beim Übertragen der Leistung durch hydraulische Kupplungen mit Rädergetrieben oder elektrische Maschinen entstehen Verluste, die im Brennstoffverbrauch zum Vorschein kommen. Außerdem muß beim Manövrieren und auch in den Pausen bei stillstehender Schraube mindestens eine Dieselmaschine, wenn auch leer, weiterlaufen. Bei Nachrechnung dieser Kosten kommt man jedoch zu dem Ergebnis, daß dieser Nachteil unter besonderen Verhältnissen durch die Vorteile aufgewogen wird.

Bei der Beurteilung des Für und Wider der Getriebe muß vor Verallgemeinerungen gewarnt werden. Es gibt im Schiffbau wohl ähnliche, aber niemals gleiche Fälle. Jede Schiffsanlage muß unter eingehender Kenntnis und Berücksichtigung der Betriebserhältnisse und der Verwendung des Schiffes ausgewählt werden. Eine zahlenmäßige Darstellung der Vor- und Nachteile der Antriebe möchte ich daher vermeiden, da solche Zahlen nicht absolut, sondern nur für einen bestimmten Einzelfall Wert haben. Es genügt, für diese kurze Betrachtung die Tatsachen und berechtigten Aussichten festzustellen.

Von Kriegschiffbetrieben mit ihren besonderen Bedingungen wollen wir hier absehen. Bei Handelsschiffen für lange atlantische Reisen besteht bei mittlerer Größe und mittleren Maschinenleistungen, die man mit Sicherheit in langsam laufenden Maschinen unterbringen kann, kein Bedürfnis für Umsteuer-Zwischengetriebe, zumal hier deren Vorteile nicht so schwer wiegen. Für kleine und ganz große Leistungen jedoch, und vor allem für Schiffe, die häufig in schwierigem Fahrwasser arbeiten, haben sie dagegen schätzenswerte bauliche und betriebstechnische Vorteile.

[A 423]

DER DRUCKABFALL IN GLATTEN ROHREN UND DIE DURCHFLUSSZIFFER VON NORMALDÜSEN[1]).

Von M. Jakob und S. Erk, Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Das Gesetz des Druckabfalls strömender Flüssigkeit in einem glatten Rohr wird im Bereich der Reynoldsschen Zahlen $R = 86000$ bis 462000 mit Wasser geprüft. Die bisher meist gebräuchliche Potenzformel für die Widerstandsziffer als Funktion der Reynoldsschen Zahl versagt oberhalb $R = 100000$ und muß durch eine andere Gleichung ersetzt werden. Ferner wird die Durchflußziffer von Normaldüsen und einer kürzeren Düse bei Reynoldsschen Zahlen von 71000 bis 377000 mit Luft bestimmt, wobei die strömende Menge aus dem Druckabfall in vorgeschalteten glatten Messingrohren nach der erwähnten neuen Gleichung berechnet wird.

Die vorliegende Arbeit ist auf Veranlassung des Ventilatoren- und Kompressorenausschusses des Vereines deutscher Ingenieure unternommen worden, der auch Geldmittel dazu von mehreren Industrieverbänden beschafft hat. Zu Vergleichsmessungen an Rohren und Düsen mit Luft hat die Firma Danneberg & Quandt im September und Oktober 1922 das Prüffeld ihrer Ventilatorenfabrik in Berlin-Lichtenberg und zahlreiche Hilfsmittel in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt. Versuche mit Wasser konnten durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Reichel vom August bis November 1923 in der Versuchsanstalt für Wassermotoren der Technischen Hochschule Charlottenburg ausgeführt werden. Der Obmann des Ventilatoren- und Kompressorenausschusses, Herr Ing. Stach, Bochum, hat die Untersuchungen mit Luft vorbereitet und die Vorversuche geleitet, an denen sich auch Herr Dipl.-Ing. J. Ackeret, Assistent an der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen, und noch mehrere Vertreter des Ausschusses beteiligten. Bei den endgültigen Luftversuchen haben die Herren Dipl.-Ing. Fichtner, Oberingenieur der Firma Danneberg & Quandt, und Oberlehrer a. D. Fuchs, Assistent der Versuchsanstalt für Heiz- und Lüftungswesen der Technischen Hochschule Charlottenburg, mitgewirkt. All den Genannten danken wir auch an dieser Stelle verbindlichst.

1. Anlaß und Ziel der Untersuchung.

Eines der wichtigsten Verfahren zur Bestimmung großer Mengen von strömenden Gasen oder Flüssigkeiten beruht auf der Messung des Druckabfalls, den die Strömung in einer Einschnürung (Düse, Staurand, Venturirohr) erleidet. Hierbei gilt die Gleichung

$$V = \alpha F \sqrt{\frac{2 g [(h_1)_D - (h_2)_D]}{\gamma_D}} \quad \ldots \ldots (1).$$

In ihr bedeutet:

- V das in der Zeiteinheit geförderte Volumen des strömenden Stoffes in $cm^3 s^{-1}$,
- F den engsten Querschnitt der Einschnürung in cm^2,
- g die Erdbeschleunigung in $cm\,s^{-2}$,
- $(h_1)_D - (h_2)_D$ den Unterschied zwischen den Drücken vor und hinter der Einschnürung in g (Gew.) cm^{-2} (oder cm Wassersäule),
- γ_D die Dichte des strömenden Stoffes in der Einschnürung in g (Gew) cm^{-3},
- α die Durchflußziffer.

Im Idealfall, wenn keinerlei Verluste durch Wirbelbildung, Stoß usw. in der Nähe der Verengung eintreten, wäre $\alpha = 1$. Tatsächlich weicht aber die Durchflußziffer je nach der Form der Verengung, dem Verhältnis des engsten Querschnittes zu dem des Rohres (Öffnungsverhältnis m) und der Strömungsgeschwindigkeit mehr oder minder stark von 1 ab. Eine von Prandtl und Regenbogen zweckmäßig geformte Düse ist in verschiedenen geometrisch ähnlichen Größen als Normaldüse in die „Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren, aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure und dem Verein deutscher Maschinenbauanstalten im Jahre 1912"[2]), aufgenommen worden. Die Ausflußziffer dieser Düsenform wird in den „Regeln" vorläufig zu 0,97 bis 0,995 angegeben, indem gleichzeitig auf die Notwendigkeit einer zuverlässigeren Bestimmung von α hingewiesen wird.

Da große Gasometer für Düseneichungen nur ganz ausnahmsweise verfügbar sind und auch die mittlere Temperatur im Gasbehälter, von der das Volumen abhängt, nur schwer festzustellen ist, hat Jakob[3]) den Vorschlag gemacht, die zu eichenden Düsen mit glatten Rohren hintereinander zu schalten, da man aus dem Druckabfall in den Rohren die Gasmengen genau bestimmen könne. Er ging dabei aus von der Gleichung

$$\frac{h_1 - h_2}{\gamma} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} = (\lambda_R + \lambda_B) \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} \quad \ldots \ldots (2).$$

Hierin bedeutet:

- $h_1 - h_2$ den Druckabfall in g (Gew) cm^{-2} (oder cm Wassersäule,
- γ die mittlere Dichte des strömenden Stoffes in g (Gew.) cm^{-3},
- l die Meßstrecke in cm,
- d die lichte Weite des Rohres in cm,
- w die mittlere Geschwindigkeit im Rohrquerschnitt in $cm\,s^{-1}$

und λ eine Widerstandsziffer, die sich zusammensetzt aus einem Glied λ_R, das durch die Reibung bedingt ist, und aus einem Glied λ_B, entsprechend der Beschleunigung des strömenden Stoffes im Rohr.

Von λ_B, das für Flüssigkeiten gleich 0 ist, bei Gasen im allgemeinen eine kleine Berichtigungsgröße bedeutet, soll zunächst abgesehen werden, λ_R aber kann, wie Reynolds[4]) gezeigt hat, nach dem Ähnlichkeitsprinzip als Funktion einer einzigen, für beliebige strömende Substanz gültigen Kenngröße $R = \frac{w d}{\nu}$ (jetzt allgemein Reynoldssche Zahl genannt) dargestellt werden, in der ν die kinematische Zähigkeit bedeutet. Für diese Funktion fand ebenfalls bereits Reynolds empirisch das Potenzgesetz

$$\lambda_R = c_1 \left(\frac{\nu}{w d}\right)^{c_2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3),$$

das seitdem die meisten Beobachter[5]) der Auswertung ihrer Versuche zugrunde gelegt haben. Nach Gl. (2) kann man nämlich, wenn man h_1, h_2, w und die Temperatur mißt, λ und mit Berücksichtigung der Berichtigungsgröße λ_B auch λ_R berechnen. Aus Gl. (3) erhält man dann die von der strömenden Substanz un-

[1]) Ein ausführlicher Bericht erscheint demnächst in den „Forschungsarbeiten" als Heft 267.

[2]) Im folgenden kurzweg mit „Regeln bezeichnet.

[3]) M. Jakob, Z. Bd. 66 (1922) S. 178 und 864.

[4]) O. Reynolds, Phil. Trans. Roy. Soc. London Bd. 174 (1883) S. 935.

[5]) H. Blasius, Forschungsarbeiten Heft 131 (1913) S. 1. — H. Ombeck, Forschungsarbeiten Heft 158 und 159 (1914). — M. Jakob, a. a. O. — L. Schiller, Zeitschr. für ang. Math. u. Mech. Bd. 3 (1923) S. 2.

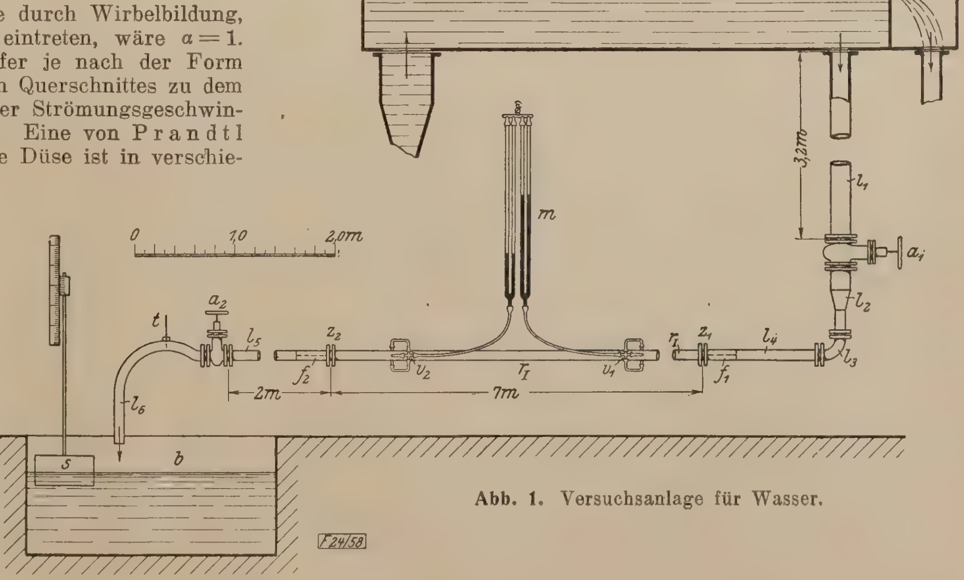


Abb. 1. Versuchsanlage für Wasser.

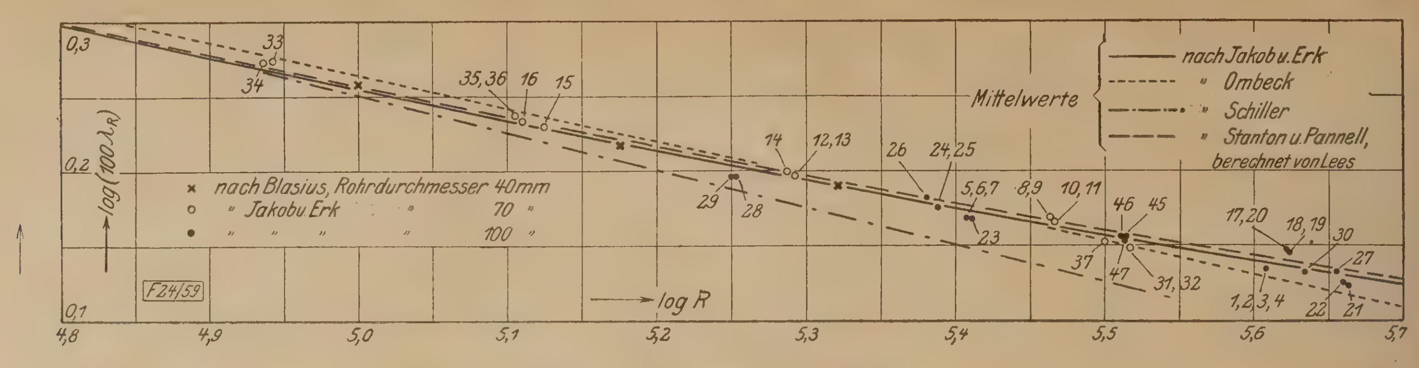


Abb. 2. Reibungsziffer $\lambda_R = f(R)$.

abhängigen Konstanten c_1 und c_2. Da diese durch sorgfältige Messungen hinreichend bestimmt schienen, hätte man also nach Gl. (2) ohne weiteres die mittlere Geschwindigkeit w und damit das in der Zeiteinheit durch ein glattes Rohr strömende Volumen aus dem gemessenen Druckabfall berechnen können.

Im Laufe der Untersuchung wurde uns indes eine kurz vor Kriegsbeginn in England veröffentlichte Arbeit von Stanton und Pannell[1]) bekannt, nach der bei Versuchen mit Wasser und Luft in glatten Rohren bis $R = 420\,000$ das Potenzgesetz bestätigt wurde und deren Ergebnis Lees[2]) in der empirischen Form

$$\lambda_R = 0{,}0072 + 0{,}6104 \left(\frac{w\,d}{\nu}\right)^{-0{,}35} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

dargestellt hat. In dem Versuchsbereich bis $R = 100\,000$, der den Bestimmungen von c_1 und c_2 durch Blasius und durch Jakob zugrunde lag, fällt λ_R nach dem Potenzgesetz (3) oder Gl. (4) praktisch zusammen; für $R > 100\,000$ aber wird λ_R nach Gl. (4) allmählich größer als nach Gl. (3). Damit steht das Ergebnis der Messungen von Schiller[3]) in Widerspruch, der bei Wasserversuchen bis $R = 350\,000$ das Potenzgesetz (3) genau erfüllt fand. Da wir nun bei der Eichung der Normaldüsen die als Normalmeßgeräte dienenden Rohre sogar bis $R = 470\,000$ benutzten, wobei λ_R nach Gl. (4) bereits um 12 vH größer ist als nach Gl. (3), schien es erforderlich, die Form des Gesetzes für den Druckabfall mit den Normalrohren in möglichst weitem Bereich zu überprüfen. Messungen mit Luft waren nicht möglich, da kein geeigneter großer Gasometer zur Verfügung stand; daher kam nur eine Untersuchung mit Wasser in Frage. Über diese, nach der Düseneichung ausgeführte Untersuchung wird im folgenden Abschnitt II berichtet, während Abschnitt III die Bestimmungen der Aus- und Durchflußzahlen von Düsen aus dem Druckabfall in vorgeschalteten glatten Rohren behandelt.

[1]) T. E. Stanton und J. R. Pannell, Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) Bd. 214 (1914) S. 199.
[2]) Ch. H. Lees, Proc. Roy. Soc. London, (A) Bd. 91 (1915) S. 46.
[3]) a. a. O.

II. Versuche mit Wasser.

Die Versuchsanlage für Wasser ist in Abb. 1 annähernd maßstäblich dargestellt. In den Oberwasserkanal o wurde durch eine elektrisch angetriebene Zentrifugalpumpe Wasser aus dem Landwehrkanal gehoben. Von hier floß es durch das 200 mm weite gußeiserne Fallrohr l_1, den Blechtrichter l_2, einen Gußkrümmer l_3 und das Schmiederohr l_4 von 100 mm l. W. in das Versuchsrohr, dann durch die Schmiederohre l_5 und l_6 von 100 mm l. W. in das Meßbecken b, das etwa 41 m² Grundfläche hatte. Der Wasserstand in b wurde durch den Zeiger eines Schwimmers s angezeigt, der sich an einer in Millimeter geteilten, festen Stahlskala vorbei bewegte. Die kleinen Unterschiede der Querschnittfläche des Meßbeckens in verschiedener Höhe wurden durch Füllen mit Wasser bestimmt, das in Mengen von je 2 m³ einem auf einer Dezimalwage stehenden Behälter entnommen wurde. An der höchsten Stelle des gebogenen Rohres l_6 war ein Thermometer t mit $^1/_{10}$ Grad-Teilung eingelassen, hinter l_1 und vor l_6 je ein Absperrschieber a_1 und a_2 von 200 bzw. 100 mm l. W., in l_4 und l_5 je ein Richtflächenpaar f_1 und f_2 eingebaut.

Als Versuchsrohre dienten nahtlos gezogene Messingrohre von 100 und 70 mm l. W., die mittels geeigneter Zwischenflanschen z_1 und z_2 zwischen l_4 und l_5 eingeschaltet werden konnten. Die Innenflächen der Rohre waren beim Beginn der Versuche spiegelblank und wurden im Verlauf der Untersuchung wiederholt sorgfältig gereinigt. Ihre genauen Abmessungen sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Am Anfang und Ende der Meßstrecke waren je in einer senkrecht zur Rohrachse liegenden Ebene mehrere Anbohrungen
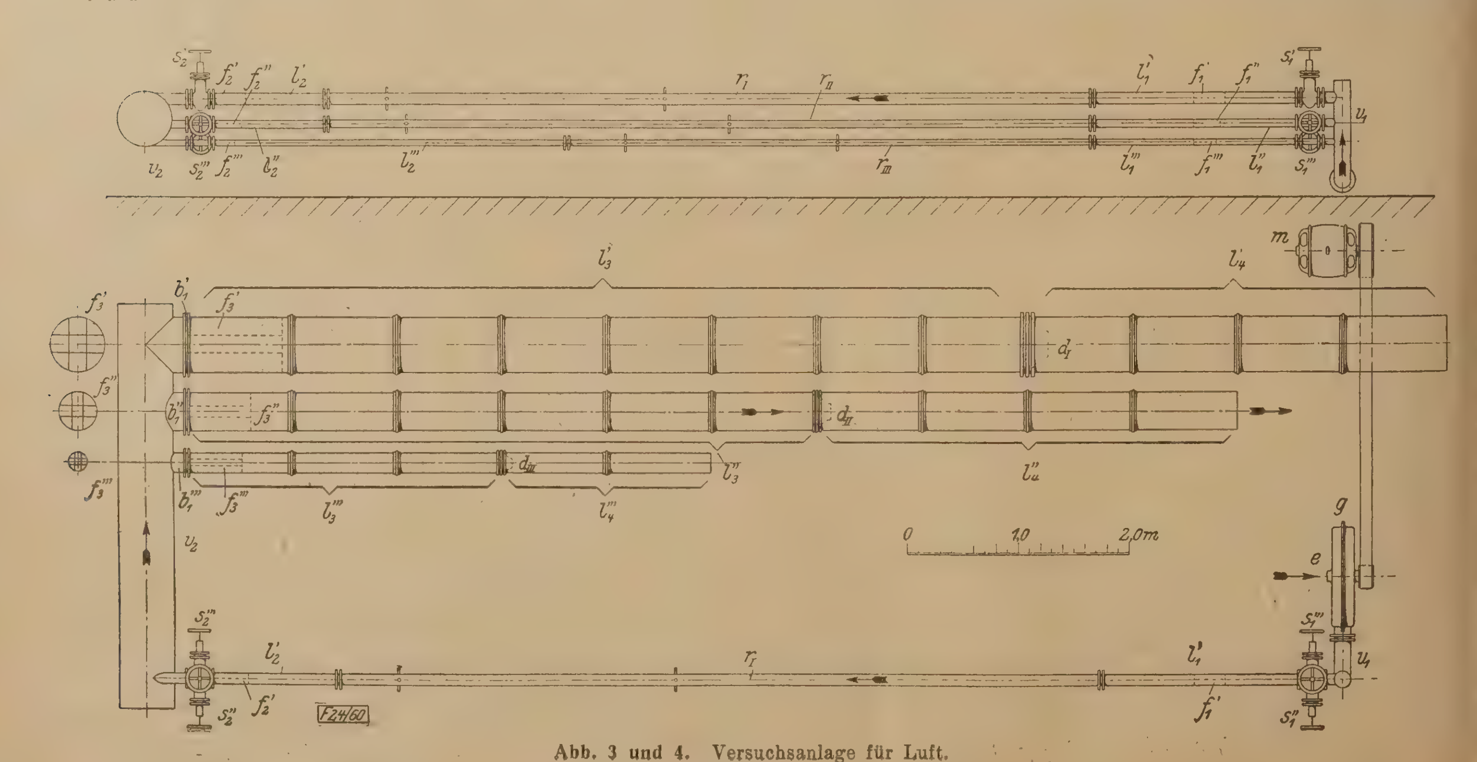


Abb. 3 und 4. Versuchsanlage für Luft.

Zahlentafel 1. Abmessungen der Versuchsrohre.

Bezeichnung des Rohres	Innen-Dmr. mm	Außen-Dmr. mm	Länge der Anlaufstrecke mm	Meßstrecke mm	Auslaufstrecke mm
r_I	99,85	104,08	4000	2500	510
r_{II}	70,15	74,05	3510	2899	710

sorgfältig hergestellt, von denen Schläuche über gläserne Verbindungsstücke v_1 und v_2 zu dem Wassermanometer m führten.

Vor Beginn eines Versuches wurde die gewünschte Wassergeschwindigkeit mit Hilfe der Absperrschieber a_1 und a_2 eingestellt. Während des Versuches blieb sie ungeändert, da durch den Überlauf am Oberwasserkanal konstante Druckhöhe und guter Dauerzustand gewährleistet waren. Am Manometer wurde in gleichmäßigen Abständen von ½ bis 2 Minuten abgelesen. Die Menge des ausfließenden Wassers wurde aus der zur Füllung des Meßbeckens erforderlichen Zeit bestimmt. Um $\frac{w\,d}{\nu}$ berechnen zu können, wurde mit einem Kapillarviskosimeter auch die Zähigkeit des benutzten Wassers gemessen; sie wich nicht meßbar von der des reinen Wassers ab.

Mit jeder Ausflußmenge (17 bis 25 m³) wurden mehrere Versuche angestellt, insgesamt 24 mit Rohr r_I und 16 mit Rohr r_{II} Die Versuchsdauer betrug 10 bis 50 Minuten, je nach Rohrweite und Wassergeschwindigkeit (1¼ bis 5¼ m s⁻¹).

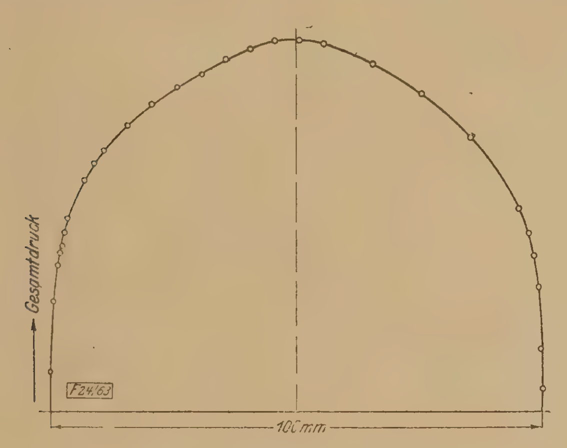


Abb. 5. Gesamtdruck im Austrittquerschnitt von Rohr r_I.

Die Versuchsergebnisse sind aus Abb. 2 zu entnehmen[1]), in der $\lg \lambda_R$ als Funktion von $\lg R$ dargestellt ist. Die Versuchswerte lassen sich mit einer mittleren Genauigkeit von ±1 vH durch die nur wenig von der Leesschen abweichende Gleichung

$$\lambda_R = 0{,}00714 + 0{,}6104 \left(\frac{w\,d}{\nu}\right)^{-0{,}35} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$

darstellen. Das Ergebnis unserer Versuche spricht daher für die Richtigkeit der Messungen von Stanton und Pannell und gegen Schiller. Bemerkenswert ist, daß auch die drei einzigen Versuche, die Blasius bei höheren Reynoldsschen Zahlen, nämlich zwischen $R = 96\,000$ und $210\,000$, ausgeführt hat[2]), sehr gut zu unseren Versuchswerten passen. Sie sind ebenfalls in Abb. 2 eingetragen.

Eine Erklärung für den nach unseren und Stanton und Pannells Untersuchungen gültigen Verlauf der λ_R-Kurve für glatte Rohre kann man vielleicht aus der Analogie mit rauhen Rohren gewinnen. Für diese ist, insbesondere nach den neuen Versuchen von Hopf[3]) und von Fromm[4]), anzunehmen, daß mit größer werdendem R die Reibungsziffer λ_R von R unabhängig und der Druckabfall damit dem Quadrat der Geschwindigkeit verhältnisgleich wird. Man kann nun vermuten, daß bei sehr großen Werten von R, d. h. für ein und dasselbe Rohr bei sehr großer mittlerer Geschwindigkeit, praktisch glatte Rohre nicht mehr als hydromechanisch glatt anzunehmen sind[5]). Dies wäre also bei den von Blasius, von Stanton und Pannell und von uns verwendeten gezogenen Messingrohren von etwa $R = 100\,000$ an der Fall. Ob dem unterhalb dieses Wertes geltenden Potenzgesetz etwa auch oberhalb $R = 100\,000$ die Bedeutung eines Grenzgesetzes für ideal glatte Rohre zuzusprechen ist, steht dahin.

[1]) Die den Punkten beigeschriebenen Zahlen sind die Nummern der Versuche in zeitlicher Folge.

[2]) H. Blasius, a. a. O. S. 18 und Abb. 14. Siehe hierüber unsern ausführlichen Bericht in den „Forschungsarbeiten".

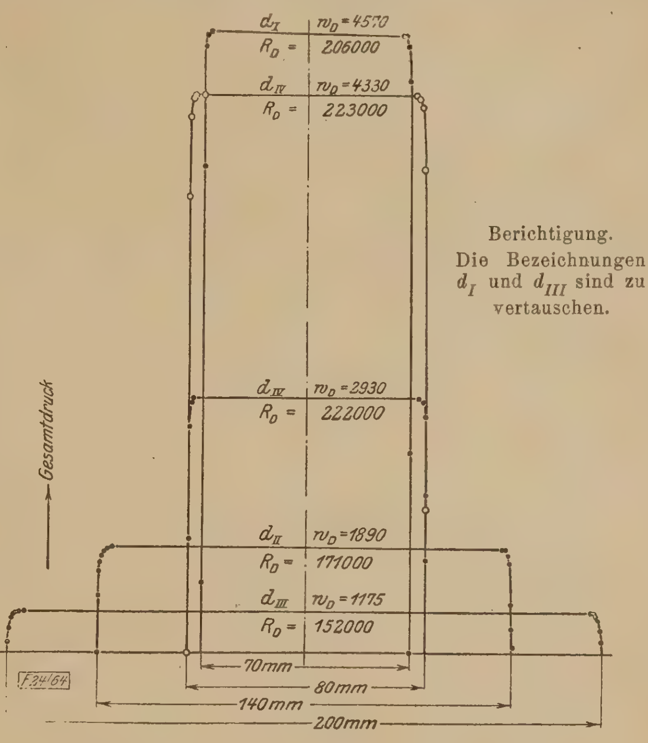
[3]) L. Hopf, Z. f. ang. Math. u. Mech. Bd. 3 (1923) S. 329.

[4]) K. Fromm, Z. f. ang. Math. u. Mech. Bd. 3 (1923) S. 339.

[5]) Vergl. „Engineering" Bd. 116 (1923) S. 69.

III. Versuche mit Luft.

Zur Bestimmung ihrer Durchflußziffer wurden in der in Abb. 3 und 4 annähernd maßstäblich dargestellten Versuchsanlage die Düsen mit den glatten Messingrohren hintereinander geschaltet. Die Anlage bestand aus dem Gebläse g mit Motor m, der Rohrleitung l_1' bis l_4''' mit den Verteilerstücken v_1 und v_2, den Richtflächen f_1' bis f_3''' und den Absperrschiebern s_1' bis s_2''', den Meßrohren r_I und r_{II} und den Düsen d_I bis d_{IV}. Der Weg der bei e eintretenden Luft ist aus den eingezeichneten Pfeilen ohne weiteres ersichtlich. Die Absperrschieber s und die Blindflansche b ermöglichten, die Rohre und Düsen nach Belieben zusammen- bzw. auszuschalten. Durch



Berichtigung. Die Bezeichnungen d_I und d_{III} sind zu vertauschen.

Abb. 6. Gesamtdruck im Austrittquerschnitt der Düsen.

Abnehmen der Rohre l_4', l_4'', l_4''' konnten die Düsen auch als Ausflußdüsen untersucht werden. Düse d_{IV} war in die zu d_{III} gehörige Rohrleitung eingebaut. Endlich wurde noch durch Einbau von Düse d_{III} in die zu Düse d_{II} gehörige Rohrleitung von 350 mm l. W. der Sonderfall des „Ausflusses aus einem praktisch unendlich großen Gefäß", d. h. vernachlässigbar kleiner Zuströmgeschwindigkeit vor der Düse verwirklicht. Die Hauptabmessungen der Düsen sind in Zahlentafel 2 zusammengestellt.

d_I, d_{II} und d_{III} waren Normaldüsen nach den „Regeln", d_{IV} eine kürzere, von Ad. Hinz angegebene Düse (Abmessungen sämtlicher Normaldüsen und der Hinz-Düse siehe Forschungsarbeiten Heft 267).

Als Manometer wurden U-Rohre mit Alkohol- und Petroleumfüllung und Mikromanometer mit geneigter Kapillare verwendet. Als Nebenapparate dienten ein Augustsches Psychrometer zur Bestimmung der Feuchtigkeit und Temperatur der Raumluft, ein Galvanometer mit sechs Thermoelementen, mit denen die Temperatur der strömenden Luft bestimmt wurde, und ein Aneroidbarometer zur Messung des Luftdruckes.

Zahlentafel 2. Abmessungen der Versuchsdüsen.

Bezeichnung der Düse	Innen-Dmr. der Düse mm	Innen-Dmr. des Zuleitungsrohres mm	Werkstoff und Bearbeitung
d_I	200,1	500	Gußeisen, bearbeitet
d_{II}	140,15	350	„ „
d_{III}	70,00	175	„ vernickelt und poliert
d_{IV}	79,6	175	Holz, gestrichen und lackiert
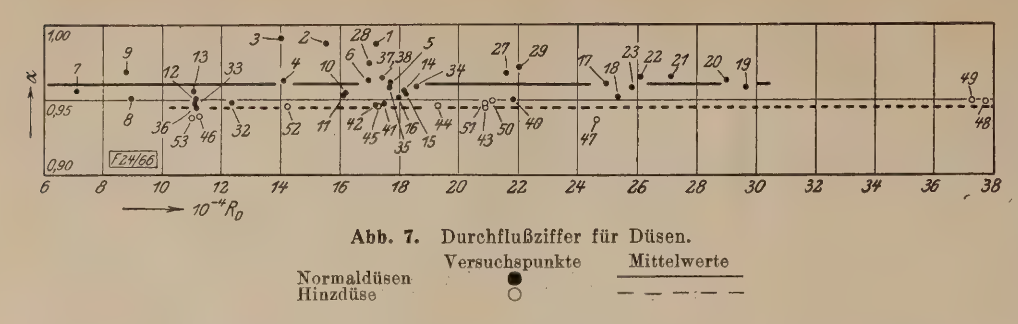


Abb. 7. Durchflußziffer für Düsen.

	Versuchspunkte	Mittelwerte
Normaldüsen	●	———
Hinzdüse	○	— — — —

Nachdem vor Beginn des Versuches das gewünschte Rohr vor die Düse geschaltet war, wurde der Motor angelassen und durch Regelung der Umlaufzahl ein bestimmter Druckabfall im Rohr oder in der Düse eingestellt. Auch während des Versuches mußte die Geschwindigkeit des Motors wegen der Netzschwankungen ab und zu mit Hilfe eines Wasserwiderstandes nachgeregelt werden. Wenn das Gebläse durch die Luftreibung auf konstante Temperatur erwärmt war, wurde während 15 bis 20 min in Zwischenräumen von je einer halben Minute genau gleichzeitig nach einem Signal von je einem Beobachter der Druckabfall im Rohr und in der Düse abgelesen. Der erste Beobachter maß ferner den statischen Druck an der ersten Meßstelle des Rohres, der zweite, wenn die Düse als Durchflußmesser eingebaut war, den statischen Druck vor der Düse. Ein dritter Beobachter las die Temperaturen und den atmosphärischen Luftdruck ab. Für die Auswertung wurde die kinematische Zähigkeit der Luft aus einer Formel von Millikan[1]) berechnet und nach Feuchtigkeit und Druck berichtigt.

Bei strömenden Gasen muß die Beschleunigung infolge des Druckabfalls berücksichtigt werden durch die Gleichung

$$\lambda_B = \frac{4\,d}{l}\,\frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad \ldots \ldots \quad (6).$$

Durch Einsetzen von Gl. (5) und (6) in (2) erhält man eine Gleichung, die man nur durch Probieren oder durch mehrere nacheinander anzuwendende Näherungsrechnungen nach w auflösen kann. Da 48 Versuche auszuwerten waren, wählten wir das Näherungsverfahren. Bei der Rechnung mußte außerdem nach J. Gasterstädt[2]) die Verteilung der Geschwindigkeit über den Strömungsquerschnitt berücksichtigt werden.

In Abb. 5 ist die Gesamtdruckverteilung im Rohr r_I, in Abb. 6 die in unseren Düsen nach Messungen von Ackeret dargestellt, wobei die Ordinaten maßstäblich die in den verschiedenen Düsen herrschenden Gesamtdrücke wiedergeben, während die Abschnitte auf der Abszissenachse die lichte Weite der Düsen veranschaulichen. Hiernach nimmt im Düsenquerschnitt (im Gegensatz zum Rohr) bis hart an die Wand der Gesamtdruck nicht merklich ab. Wegen der Folgerungen aus diesen Messungen muß auf unseren ausführlichen Bericht in den „Forschungsarbeiten" verwiesen werden. Dort sind auch die Einzelergebnisse unserer Vergleichsmessungen zur Bestimmung von α in Zahlentafeln wiedergegeben.

Die hieraus nach Gl. (1) berechneten Werte von α sind in Abb. 7 zusammengestellt[3]), ihre Mittel in Zahlentafel 3.

Die Zahlentafel zeigt, daß der Einbau der Düse ohne Einfluß auf die Größe von α ist. Verhältnismäßig hoch sind die bei den drei Ausflußversuchen aus besonders weitem Rohr gefundenen Werte von α. Wegen der kleineren Zuströmgeschwindigkeit wäre ein um 1 vH geringeres α als im Normalfalle zu erwarten. Im entgegengesetzten Sinne wirkt der kleinere Staudruck an der Druckmeßstelle vor der Düse. Daß dieser Einfluß wirklich etwa 2 vH beträgt, wie es nach den Werten der Zahlentafel 3 scheinen möchte, wagen wir aus der innerhalb der Versuchsgenauigkeit liegenden Abweichung von nur drei Versuchen nicht zu schließen.

Zahlentafel 3.
Mittlere Durchflußziffer α der Düsen.

Düse	d_I		d_{II}		d_{III}		d_{IV}	
	Zahl der Versuche	α	Zahl der Versuche	α	Zahl der Versuche	α	Zahl der Versuche	α
Ausflußdüse	3	0,955	9	0,957	11	0,965	7	0,944
Durchflußdüse . . .	2	$0{,}964_5$	3	0,963	6	0,955	4	0,946
Ausflußdüse in bes. weitem Rohr .					3	0,972		

Aus der Gesamtheit unserer Beobachtungen ergibt sich für die Normaldüsen, unabhängig von ihrer Größe, der Art ihres Einbaues und der Luftgeschwindigkeit die Ausflußziffer $\alpha = 0{,}96$, also etwa 2 vH weniger als man bisher angenommen hatte, für die Hinzdüse d_{IV} unabhängig von der Art des Einbaues und der Luftgeschwindigkeit $\alpha = 0{,}945$. Zur Ergänzung der vorliegenden Untersuchungen könnten Wassermessungen mit den gleichen Düsen dienen, wobei diese als Durchflußdüsen oder für den Ausfluß in Wasser (nicht in Luft) zu eichen wären. [A 233]

[1]) M. Jakob, Z. Bd. 66 (1922) S. 864.

[2]) J. Gasterstädt, Forschungsarbeiten Heft 265 (1924).

[3]) Die den Punkten beigeschriebenen Zahlen sind Versuchsnummern.

FLUGZEUGTANKS AUS ALUMINIUMBLECH.

Flugzeugtanks für Öl und Wasser müssen so leicht wie irgend möglich und dabei aber so widerstandsfähig gegen Stöße von außen und innen sein, daß sie in jeder Lage, in der sich das Flugzeug befindet, dicht bleiben. Stöße von außen sind bei den Erschütterungen des Flugzeuges und seiner Teile, an denen die Tanks angebracht sind, nicht zu vermeiden. Stöße von innen entstehen durch die übergehende Flüssigkeit. Sie können durch Stoßplatten vermindert werden. Eine dahingehende Bauart wird von der Regierung der Vereinigten Staaten bei ihren Flugzeugen benutzt. Diese gibt Form und Hauptmaße der Tanks an, und die ausführende Firma legt die Einzelheiten der Konstruktion fest.

Die Herstellung der Tanks geschieht gewöhnlich nach einem bestimmten Arbeitsverfahren: Man benutzt Aluminiumblech von verschiedener Dicke, je nach der Größe und Verwendung der Tanks. Dieses Blech wird zunächst geschnitten, und sodann werden an bestimmten Stellen Rippen eingewalzt, durch die die Stoßplatten gehalten werden. Die Rippen erfüllen außerdem noch den Zweck, daß die Platten einmal versteift werden und sich außerdem bei Wärme- und Luftdruckänderungen ausdehnen können.

Die mit Rippen versehenen Böden werden zunächst der Länge nach in die gewünschte Form gebogen, und die Ecken der Längsnähte werden geflanscht und geschweißt.

Gebogen wird über Holzformen. Ist der Boden geformt, so werden Löcher für die Verbindungsteile gebohrt und die Teile werden zusammengeschweißt.

Nach dem Boden werden die Stoßplatten geschnitten und geformt, indem sie an den Ecken und um die Öffnungen herum geflanscht werden; außerdem werden Rippen zur Versteifung der Ecken und Plattenmitte angebracht. Die Eckflanschen dienen zur Befestigung der Stoßplatten auf dem Tankboden mit Nieten. Diese Nietlöcher werden bei eingesetzten Stoßplatten gebohrt und die Nieten werden nur schwach genietet. Diese Befestigung mußte gewählt werden, weil ein Einschweißen der Stoßplatten aus Platzmangel nicht möglich ist. Stark genietete Verbände werden nicht benutzt, da man diese nicht wasserdicht bekommen kann. Der Schweißer bringt das Desoxydationsmittel an die vorragenden Enden der Nietbolzen, richtet dann die Schweißflamme senkrecht darauf und verschmilzt Bodenplatte und Bolzen zu einer vollkommen dichten Verbindung. Zuletzt werden die Enden des Tanks geflanscht und geschweißt. Sind die Tanklängen ungenau ausgefallen, so werden diese Fehler durch Zurichten der Flanschen bei zu großer Länge und durch Aufschweißen von Metall bei zu geringer beseitigt.

Danach legt man die Tanks in Schwefelsäure von 10 vH, um das Desoxydationsmittel zu beseitigen, ferner in reines Wasser, um wiederum die Schwefelsäure zu entfernen. Schließlich werden sie abgescheuert und die Öffnungen mit Pfropfen geschlossen, worauf sie unter Wasser gehalten und einem je nach der Wanddicke verschiedenen Druck ausgesetzt werden. Auch die Regierung der Vereinigten Staaten prüft die Tanks noch einmal bei Empfang.

Man hat auch sturzsichere Tanks gebaut, die mit frischem 5 cm und mehr dickem Gummi umhüllt wurden. Einer dieser Tanks wurde von 1200 m Höhe abgeworfen; er wurde zusammengedrückt, ohne daß der Flüssigkeitsinhalt ausfloß. („American Machinist" Bd. 60 vom 3. Mai 1924.) [M 401]

INDUSTRIELLE UND LANDWIRTSCHAFTLICHE MOORNUTZUNG.

Von Professor Dr. Gustav Keppeler.

Vorgetragen auf dem 5. Hannoverschen Hochschultag am 2. Februar 1924.

Betrachtung über die Nutzung der deutschen Moore im volkswirtschaftlichen Sinn. — Entwässerung und Wasserstandhaltung, Torfabbau, Torfbrikettierung, Veredlung des Torfes, Vergasung und Entgasung, Torf und Landwirtschaft.

Das Moor als Gegenstand wissenschaftlicher Forschung und aufbauender Arbeit ist sehr vielseitig. Es ist eine ganze Anzahl von Fachgebieten, die gebend und nehmend an der Förderung der Moorkunde beteiligt sind, und die an der Ausnutzung der Schätze und Entwicklungsmöglichkeiten, die die Moore bergen, mitwirken. Aber die Hauptbedeutung der Moore liegt doch darin, daß sie uns eine wenig erschlossene Brennstoffquelle liefern zur Erleichterung der heimischen Kohlenversorgung, und darin, daß ihre Kultivierung einen mächtigen Zuwachs an landwirtschaftlich genutztem Boden — und damit eine wesentliche Verbreiterung der Ernährungsgrundlage für unser Volk bringt.

Beide Gesichtspunkte sind gerade in dieser Zeit, in der wir unter den Folgen des Krieges und noch mehr unter den Auswirkungen des Versailler Diktates unerträglich leiden, von lebenswichtiger Bedeutung. Für die Folgen des Versailler Vertrages ist kennzeichnend, daß die Bevölkerung verhältnismäßig am geringsten vermindert ist, uns dagegen vielmehr die natürlichen Hilfsquellen genommen sind, die die Grundlagen für das Dasein des Volkes bilden, und darin ist besonders einschneidend der Verlust an Steinkohlenflözen sowie an Flächen, die uns die notwendigsten Nahrungsmittel geliefert haben. Der Verlust der Kohlengruben in den abgetretenen Gebieten und im Saargebiet, der Leistungsrückgang im verbliebenen Gebiet und schließlich die Reparationsleistungen brachten es fertig, daß im Jahre 1922 nur etwa die Hälfte der Steinkohlenförderung von 1913 der deutschen Wirtschaft zur Verfügung stand. Am einschneidendsten hat hier die Abtretung von Oberschlesien gewirkt. Durch sie ist der Ausfuhrüberschuß, den wir bis dahin an Kohle immer noch hatten, vollkommen zugunsten eines Einfuhrüberschusses verschwunden, und dieser Einfuhrüberschuß hat sich im Laufe des Jahres 1922 so gesteigert, daß wir ungefähr ebensoviel Kohle einführen müssen, wie wir 1913 ausführen konnten. Dabei ist die Wirkung der Ruhrbesetzung noch nicht berücksichtigt worden.

Für unseren vorliegenden Gegenstand ist weiter besonders wichtig die Abtretung von Gebieten mit landwirtschaftlicher Überproduktion. Während 10 vH unserer Bevölkerung vom Feinde weggenommen sind, ist die Erzeugung der Hauptnährfrüchte, von Roggen und Kartoffeln um 16 und 18 vH vermindert. Welch wertvolle Quelle für die Zufuhr an Nahrungsmitteln die abgetretenen Gebiete für uns waren, zeigt sich besonders, wenn man die Erträge des Ackerbaues und den Viehstand im Jahre 1913 in den beim Reich verbliebenen Gebieten und den abgetretenen Gebieten vergleicht, wenn man hört, daß je Kopf der Bevölkerung im Restgebiet 160 kg Roggen, in Posen aber 605 kg Roggen erzeugt wurden und die entsprechenden Vergleichzahlen für Kartoffeln 662 zu 2360 kg sind. Ähnlich verhält es sich mit der Viehhaltung, insbesondere der Schweinezucht.

Zu diesem Ausfall an Erzeugung tritt ein nahezu vollkommener Ausfall an Einfuhr von Futtermitteln, die zunächst durch den Valutaverfall und überhaupt durch unsre Verarmung unmöglich gemacht wurde. Für 1 Milliarde Goldmark wurden im Frieden Futtermittel eingeführt, die jetzt so ziemlich weggefallen sind und deren Wegfall zum Teil in der Verminderung unseres Viehstandes zum Ausdruck kommt, besonders aber auch darin, daß die deutsche Milchwirtschaft unter ¾ der Friedenserzeugung zurückgegangen ist. Aus diesen Zahlen spricht die Notwendigkeit, die Versorgung mit Brennstoffen und mit Nahrungsmitteln in den dem Reich verbliebenen Gebieten zu steigern, und ebenso neben der Verbesserung der Wirtschaft auf altem Kulturboden im Ödland neue ertragreiche Flächen zu erschließen. Wie in dieser Notlage die Nutzung der Moore helfend eingreifen kann, sollen die folgenden Betrachtungen zeigen.

Entstehung der Moore und Umfang.

Für die Entstehung der Moore ist wesentlich, daß sie an wasserreichen Örtlichkeiten und im feuchten Klima aufgewachsen sind. Die Lebensbedingungen, die das Wasser den Pflanzen bietet, waren nicht immer die gleichen. Das Wasser, das große Schichten mineralischen Bodens durchsickert hat, ist meist reich an mineralischen Nährstoffen, und so findet die im Grundwasser lebende Pflanze reichlichen Nährstoff. Infolgedessen ist es eine anspruchsvolle Pflanzenwelt, die hier aufwächst. Sie bildet das Niedermoor. Die Pflanzenwelt des Hochmoores erhebt sich hoch über den Wasserspiegel hinaus und ist gezwungen, von den verschiedenen Arten des Oberflächenwassers, Regen und Schnee, Tau und Reif zu leben. Infolge dieser Unterschiede in den Lebensbedingungen ist der Torf des Niedermoores aschenreich und das Niedermoor als Kulturboden verhältnismäßig reich an Pflanzennährstoff. Der Torf des Hochmoores dagegen ist arm an Asche. Nur selten überschreitet sein Aschengehalt 3 vH, aber ebenso arm ist das Hochmoor als Kulturboden und bei seiner Überführung in landwirtschaftliche Nutzung ist zur Ergänzung der Nährstoffe eine sehr viel stärkere Gabe an mineralischem Dünger jeder Art notwendig.

Die Entstehung der Moore fällt in die Zeit, wo nach dem Zurückgang des letzten Inlandeises die Schmelzwasser sich in den Talmulden der Urstromtäler und in benachbarten Teichen und Tümpeln sammelten. So kommt es, daß ihre Hauptverbreitung gerade in den Gebieten liegt, die zur Glazialzeit vom Eise bedeckt waren. Ein breiter Gürtel folgt in der Norddeutschen Tiefebene der Küste der Nordsee und der Ostsee, und in ähnlicher Weise sind die Moore angehäuft am Fuße der Alpen in der schwäbisch-bayerischen Hochebene. Der Umfang der Moore ist nicht genau bekannt. Die Schätzungen gehen weit auseinander und bewegen sich im wesentlichen zwischen 2 und 2½ Millionen ha. Das ist eine Fläche, die an Größe die Gesamtfläche von Württemberg übertrifft. 7/8 der gesamten Moorflächen fallen in das Gebiet von Preußen. Etwa die Hälfte der deutschen Moore sind Hochmoore. Welcher Teil der gesamten Moorfläche besonders für technische Nutzung geeignet ist, darüber haben wir keine Kenntnis. Er dürfte aber mit der Hälfte der Hochmoore kaum zu niedrig eingeschätzt sein.

Ein vielfach verbreiteter Irrtum muß hier richtiggestellt werden. Man findet vielfach die Angabe, daß die Moore nachwachsen. Unter geeigneten Bedingungen tun sie das, aber dieses Nachwachsen erfordert viel zu lange Zeit, als daß es uns noch von Nutzen sein könnte. Man kann berechnen, daß in den jüngeren Schichten des Hochmoores zum Aufwachsen von 1 m Moor durchschnittlich 1000 Jahre notwendig waren. Aber diese Tatsache braucht uns nicht zu beirren, denn wir wollen ja nicht Moorpflanzen in diesen Riesengebieten wachsen lassen, sondern Brot und Fleisch für unser Volk erzeugen.

Entwässerung und Wasserstandhaltung.

Die erste Maßnahme für jede Nutzung der Moore ist die Entwässerung. Diese Aufgabe ist von der allergrößten Wichtigkeit. Sie ist in früheren Zeiten im Westen unseres Gebietes in Anlehnung an holländische Erfahrungen durch den Bau von großen Kanälen durchgeführt worden. Diese Kanäle erfüllen nicht nur die Aufgabe der Entwässerung und der Wasserstandhaltung in den erschlossenen Moorgebieten, sondern sie sind vor allem auch Verkehrswege für die Anfuhr von Dünger und Saat, wie für die Abfuhr der erzeugten Güter. Auch heute wird die Durchführung solcher Kanäle dort vertreten, wo es gleichzeitig gelingt, einen an sich wünschenswerten Groß-Schiffahrtsweg zu schaffen. So durchschneidet der Küstenkanal, der durch die bereits im Gange befindliche Verbreiterung des Ems-Hunte-Kanals und seine Fortsetzung von Campe nach Dörpen eine Verbindung der Nordsee mit Rheinland-Westfalen herstellen soll, große bis jetzt nicht erschlossene Moorgebiete. Aber diese Art des Aufschlusses ist sehr kostspielig, und man kann sie nur dort vertreten, wo über das Moor weit hinausgreifende, starke Verkehrsbedürfnisse befriedigt werden können. Der Verkehr der verhältnismäßig dünn besiedelten und besiedelbaren Moorgebiete läßt sich mit Landstraßen und Klein- und Feldbahnen wesentlich billiger und ebenso zweckmäßig bewältigen. Ebenso läßt sich die Entwässerung mit viel geringerem Aufwande durch Wasserwege von verhältnismäßig kleinen Querschnitten ausführen. Dabei ist zu betonen, daß



Abb. 1. Torf-Knet- und Formmaschine.

zwar für den Beginn der Kultivierungsarbeiten die Entwässerung des Moores im Vordergrunde steht, daß dabei aber sogleich Rücksicht genommen werden muß auf eine Regelung des Wasserstandes für die Zeiten der landwirtschaftlichen Nutzung; denn die dauernde Erhaltung der Frische des Bodens ist von ebenso großer Bedeutung wie die erste Entwässerung. Die Wasserhaltung im Moorboden ist viel wichtiger, als man glauben möchte. Das Moor hält das Wasser mit s t a r k e r Kraft fest. Die auf dem Moore natürlich lebende Pflanzenwelt zeigt uns diese Erscheinung deutlich. In ihr herrschen die sogenannten Xerophyten, d. h. Pflanzen, die für das Leben in trockenem Boden eingerichtet sind, vor. Torfboden, dessen Wassergehalt unter 60 vH ist, empfindet die Pflanze als trocken. Aufgabe der Wasserstandhaltung ist, zu verhindern, daß im kultivierten Moore dieser Zustand eintritt.

Beide Aufgaben, Entwässerung und Wasserstandhaltung, erfordern aber keine besonders großen Wasserwege. Sie bedingen keinen stärker ausgebauten Vorfluter als jede andere Bodenmelioration. Wenn so gegenüber dem holländischen Kanalnetz eine Verbilligung der Entwässerungsmaßnahmen eintritt, so ist trotzdem auch diese Arbeit immer noch mit erheblichen Kosten verbunden. Das allmähliche Absenken des Wasserstandes und das Durchziehen des Moorers mit einem ziemlich feinmaschigen Grabennetz erfordern verhältnismäßig große Arbeit. Gerade der Zustand des wilden, nicht entwässerten Moores erschwert die Anwendung von Grabenziehmaschinen, so daß diese Arbeit fast ausschließlich mit der Hand ausgeführt werden muß. Der einzelne Grundbesitzer im Moore kann auch diese Arbeiten im unberührten Moore für sich allein nicht durchführen aus Mangel an Mitteln, aber noch mehr infolge der Abhängigkeit von den Nachbarn. Die Besitzverhältnisse im Moore sind überhaupt ihrer Nutzung sehr wenig förderlich. Nur selten finden wir noch große zusammenhängende Flächen in der Hand des Staates oder öffentlicher Körperschaften. Ein Blick auf eine Katasterkarte des Altwarmbüchener Moores bei Hannover zeigt

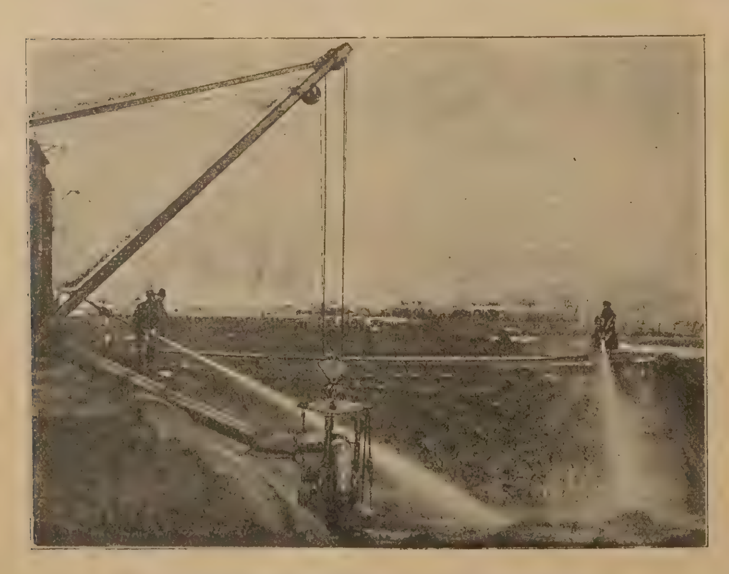


Abb. 2. Spritzverfahren zur Torfgewinnung.

deutlich eine weitgehende Zerstückelung. Eine wesentliche Förderung trotz dieser entgegenstehenden Besitzverhältnisse und trotz der umfangreichen Arbeiten, die zum Aufschluß eines Moores notwendig sind, ist durch das Gesetz für die Errichtung von Bodenverbesserungs-Genossenschaften gegeben. Diese Zwangsgenossenschaften, deren Aufgabe die Schaffung der Entwässerungsanlagen und der Folgeeinrichtungen ist, erleichtern es, die finanziellen Schwierigkeiten und die Schwierigkeiten, die in den Besitzverhältnissen liegen, leichter zu überwinden. Ihre Tätigkeit umfaßt sowohl die unmittelbare Kultur der Moorböden, wie die Verfehnung (den Torfabbau und Kultur des Untergrunds). Freilich dort, wo die Schaffung umfangreicher Vorflutanlagen notwendig ist, geht dies auch über die Kräfte solcher Genossenschaften. Deshalb empfiehlt es sich, diese Anlagen von Staats wegen zu schaffen. In jüngster Zeit will der Staat auch die Urbarmachung von Moorflächen des Privatbesitzes selbst in die Hand nehmen und den Genossenschaften die fertigen nutzbaren Flächen gegen Entschädigung zur Nutzung und Besiedlung übergeben. Man erhofft von dieser Maßnahme eine besondere Beschleunigung der Kultur von Ödlandflächen, die sich im Privatbesitz befinden.

Niederungsmoore.

Bei der Kultivierung der Moore nehmen die Niederungsmoore in gewissem Sinn eine besondere Stellung ein. Wie wir schon gesehen haben, ist der Gehalt der Niederungsmoore an Pflanzennährstoffen, namentlich Kalk und Stickstoff, von Haus

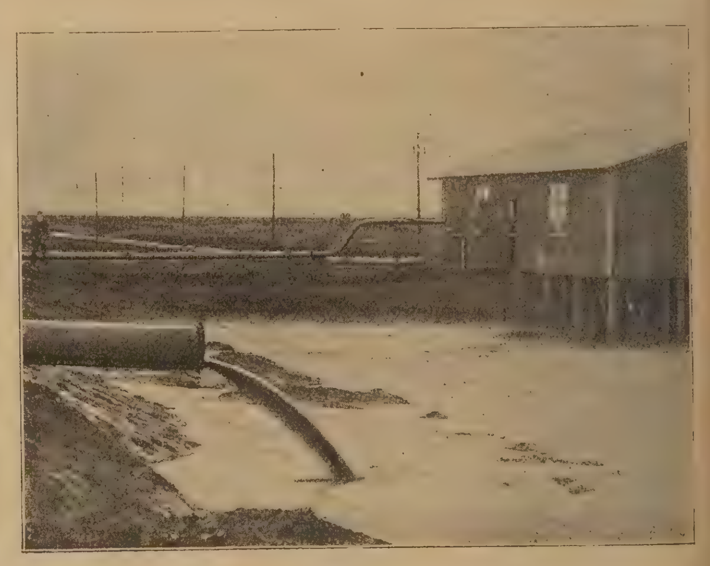


Abb. 3. Pumpen des Torfbreies auf dem Trockenfeld.

aus recht hoch und bedarf nur einer geringen Ergänzung (Kali und Phosphor). Die Pflanzenwelt, die wild auf den Niederungsmooren wächst, steht der Grünlands-Nutzflora schon sehr nahe und zeigt uns, daß es nur einer Verbesserung der Standortsverhältnisse und einer gesteigerten Pflege bedarf, um diese Flächen in ertragreiche Weiden und Wiesen umzuwandeln. Aber auch die Ackerkultur ist möglich, wenn sie auch leicht unter Frostschäden und Verunkrautung leidet. Daß aber trotzdem, von Sachverständigen geübt, auch bei Ackerkultur und Gemüsebau hervorragende Erträge erreicht werden können, zeigen die Neukulturen des letzten Jahrzehnts im Havelländischen Luch, wo unmittelbar vor den Toren Berlins 200 000 Morgen vollkommen brachlagen und nun hervorragende Ernten an Futtermitteln, Gemüse und Hackfrüchten liefern. Als besonders günstig auf dem Niederungsmoor gilt auch der Anbau von Hanf, der die Verunkrautung hindert, ferner die Zucht von Grassämereien, die für die Neuanlage von Grünland und damit eben für die Förderung der Moorkultur von großer Bedeutung ist.

Auf der andern Seite besitzt das Niederungsmoor für die technische Nutzung sehr wenig günstige Eigenschaften. Die Wasserstandverhältnisse sind meist so, daß eine vollkommene Entwässerung, die für den Torfabbau wünschenswert wäre, sich nicht durchführen läßt. Wo aus dem Niedermoor trotzdem Torf herausgeholt wird, entstehen wüste, nutzlose Wasserflächen. Es kommt hinzu, daß der Niedermoortorf einen sehr hohen Aschengehalt hat, meist 10 bis 15 vH und noch mehr, selten unter 10 vH. Der Torfstich im Niedermoor kann also nur als Aus-

hilfsmittel angesehen werden, und der Schwerpunkt ist zu legen auf die unmittelbare Kultivierung der Oberfläche, die vor allem als Grünland, als Wiese und Weide nutzbar gemacht werden kann.

Hochmoore.

Was die Kultivierung des Hochmoores betrifft, so ist ihre ältere Form die der sogenannten Fehnkultur, die auf einem Abbau des Torfes unter Bewirtschaftung des Untergrundes beruht. Im Grunde genommen ist auch hier das Kulturmittel der Moorboden, denn es wird die oberste Lage des Torfes, die sogenannte Bunkerde, auf den mineralischen Untergrund abgestürzt, und die Bunkerde liefert das eigentliche Kultivierungsmittel. Dort, wo die Schaffung großer in den Untergrund eingeschnittener Kanäle die notwendige Sandmenge zur Verfügung stellt, wird der Sand mit der Bunkerde gemischt, wodurch die Wärmeausstrahlung des Moorbodens und die Wasserverdunstung herabgesetzt wird, d. h. der Boden wird wärmer und hält sich leichter frisch. Diese Kulturart ist in Holland seit Jahrhunderten im größten Maßstabe durchgeführt worden, und die bekannte Gemüse- und Blumenkultur der Niederlande ist zum größten Teil auf dieser Bodenart begründet. So erfolgreich diese Kulturen aber sind, so sind sie doch eben an den Torfabbau gebunden und schreiten sehr langsam vor, um so mehr, als in früheren Jahrzehnten der Torfabbau im wesentlichen auf den Handstich beschränkt war. Auch im Nordwesten des deutschen Moorgebietes hat diese Kultur Anhang gefunden, und nicht geringe Flächen sind im Laufe von vielen Jahrzehnten verfehnt worden. Aber hier zeigt sich besonders, wie langsam der Fortschritt ist, gerade dann, wenn wir das Beispiel anziehen, das als älteste und am stärksten angewachsene Fehnkolonie in Deutschland zu betrachten ist, die Stadt Papenburg, deren Anfänge mitten im 30jährigen Kriege liegen und die, immer tiefer ihre 40 km langen Kanäle in das Moor vorschiebend und immer mehr Land dem Moorboden abringend, nun zu einem Gemeinwesen von 10 000 Seelen geworden ist. Die Fehnkultur hatte in den letzten Jahren vor dem Krieg immer mehr an Bedeutung verloren, weil ja der Absatz des Torfes mehr und mehr zurückging. Erdrückt von dem Wettbewerb der westfälischen und englischen Steinkohlen, der rheinischen und der mitteldeutschen Braunkohlen, hatte der Torf seine Rolle ausgespielt und mußte sich begnügen, mit seinem glimmenden Feuer nur noch den bäuerlichen Herd zu wärmen. Durch die Veränderung der Lage auf dem Kohlenmarkt hat der Torf wieder als Brennstoff Anerkennung gefunden. Schon vor dem Kriege hatte die Bewegung eingesetzt, auf maschinellem Wege die Gewinnung des Torfes billiger und in größerem Maßstabe betreiben zu können. Diese Bestrebungen sind gerade durch den jetzigen Zustand besonders begünstigt worden, und so sehen wir ein eifriges Streben, den Massenabbau des Torfes auszugestalten.

Torfabbau.

Mit dem Abbau selbst muß eine gewisse Veredlung des Torfes verbunden werden. Der mit der Hand gestochene Torf spiegelt in der von Stück zu Stück wechselnden Beschaffenheit die Verschiedenheiten der Schichten des Torfes im Moore wieder. Der große Markt verlangt aber ein gleichmäßiges Erzeugnis. Außerdem ist jener Torf sehr locker und verlangt für die Beförderung, Stapelung und Verfeuerung großen Raum und entsprechende Arbeit zur Bewältigung der großen Raummassen. Darum ist eine Verdichtung notwendig. Der Torf enthält erfreulicherweise von Natur aus in kleineren oder größeren Mengen Substanzen, die die wünschenswerte Verdichtung bei geeigneter Verarbeitung von selbst herbeiführen. Es sind dies Humusstoffe, die als Kolloid zu bezeichnen sind und die leimähnlich beim Trocknen stark zusammenschrumpfen. Im Torf, der die unveränderte Lagerung der Teile aus dem Moor mitbringt, halten die Reste unzersetzter Pflanzen diese Schrumpfung auf, sobald wir aber den Torf weitgehend zerkleiner und den kolloiden Humus in ihm gleichmäßig verteilen, kann dem Schrumpfungsvermögen Vorschub geleistet werden, und wir erhalten beim Trocknen eine weitgehende Schrumpfung, so daß das Festraumgewicht von 0,4 bis 0,6 auf nahezu 1 gebracht wird. Statt 1,4 bis 2 Millionen kcal sind dann 3,5 Millionen kcal in 1 m^3 vorhanden. Die so natürlich eintretende Verdichtung ist abhängig von der Art des Torfes und von dem Grade der Verarbeitung, die der Torf in Maschinen erfahren hat. Die Torfmaschinenindustrie hat gerade in den letzten Jahren die Hilfsmittel zur Verarbeitung des Torfes wesentlich vervollkommnet. Diese Maschinen enthalten als Misch- und Knetelemente Schneckenflügel, Schlagmesser usf., die um eine oder zwei Achsen kreisen. Die Schnecken übernehmen gleichzeitig die Bewegung der Torfmasse und drücken sie als endlosen Strang aus dem Mundstück der Maschine. Abb. 1 zeigt eine solche Torfknet- und -formmaschine, deren geöffneter Deckel die innere Einrichtung erkennen läßt.

Eine ebenso wichtige Aufgabe des Torfmaschinenbaues ist die Bewältigung der ungeheueren Massen. Dabei darf nicht vergessen werden, daß der Wassergehalt im Hochmoore nur wenig unter 90 vH sinkt, so daß 1 m^3 Rohtorf uns nicht viel mehr als 100 kg Trockentorf liefert. Wir müssen also rd. das Zehnfache der endgültigen Ausbeute zunächst im nassen Zustande fördern und bewegen. In den letzten Jahren war im wesentlichen die Beförderung des verarbeiteten Torfes auf das Trockenfeld die Hauptaufgabe, mit der sich die Maschinenindustrie zu beschäftigen hatte. Ohne Steigerung der Leistung in diesem Punkte konnte die Steigerung der Leistung beim Graben und Verarbeiten nicht ausgenutzt werden. Die Lösung, die die Wegförderung in diesen Bestrebungen erfuhr, wurde in zwei Richtungen versucht. Einerseits wurden Seilförderer gebaut, auf denen der Torf von der Maschine zum Trockenfeld gebracht wird. Aber bei diesen Einrichtungen muß das Ablegen noch mit der Hand vorgenommen werden. Die zweite Lösung bestand in selbsttätigen Transportbändern, die den Torf unmittelbar auf das Trockenfeld legen. Bei großen Leistungen wird die Arbeit dieser Einrichtungen durch Bagger verschiedener Konstruktionen unterstützt. Auf diese Weise ist der Verbrauch an Menschen weitgehend herabgesetzt und die Leistung erheblich gesteigert worden.

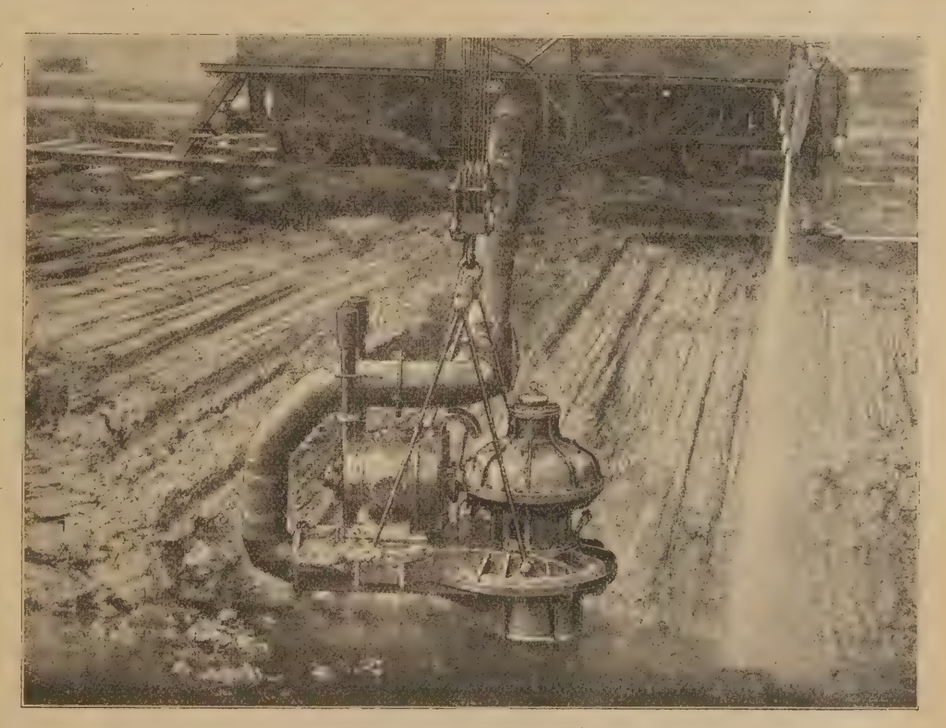


Abb. 4. Verwendung eines Zwischenbehälters beim Torf-Spritzverfahren.

Die Abbauweise, zu der man durch diese Maschinen gezwungen ist, ist allerdings aus betriebstechnischen und landeskulturellen Gründen nicht als vollkommen zu bezeichnen. Sie zwingt, da sie das Ablegen nur in verhältnismäßig schmaler Bahn (höchstens 100 m) längs der sogenannten „Pütte“ auf dem Trockenfelde zuläßt, bei sehr großen Leistungen zu sehr raschem Vorwärtsschreiten. Die Folge davon ist, daß für einen wirtschaftlichen Betrieb mehrere Kilometer lange Pütten vorhanden sein müssen, an denen sich die Torfgewinnung und das Trocknen vollzieht. Es ist klar, daß dadurch die Betriebe sehr weit ausgedehnt werden und daß die abgebauten Flächen mit ihrer geringen Breite und verhältnismäßig übergroßen Länge

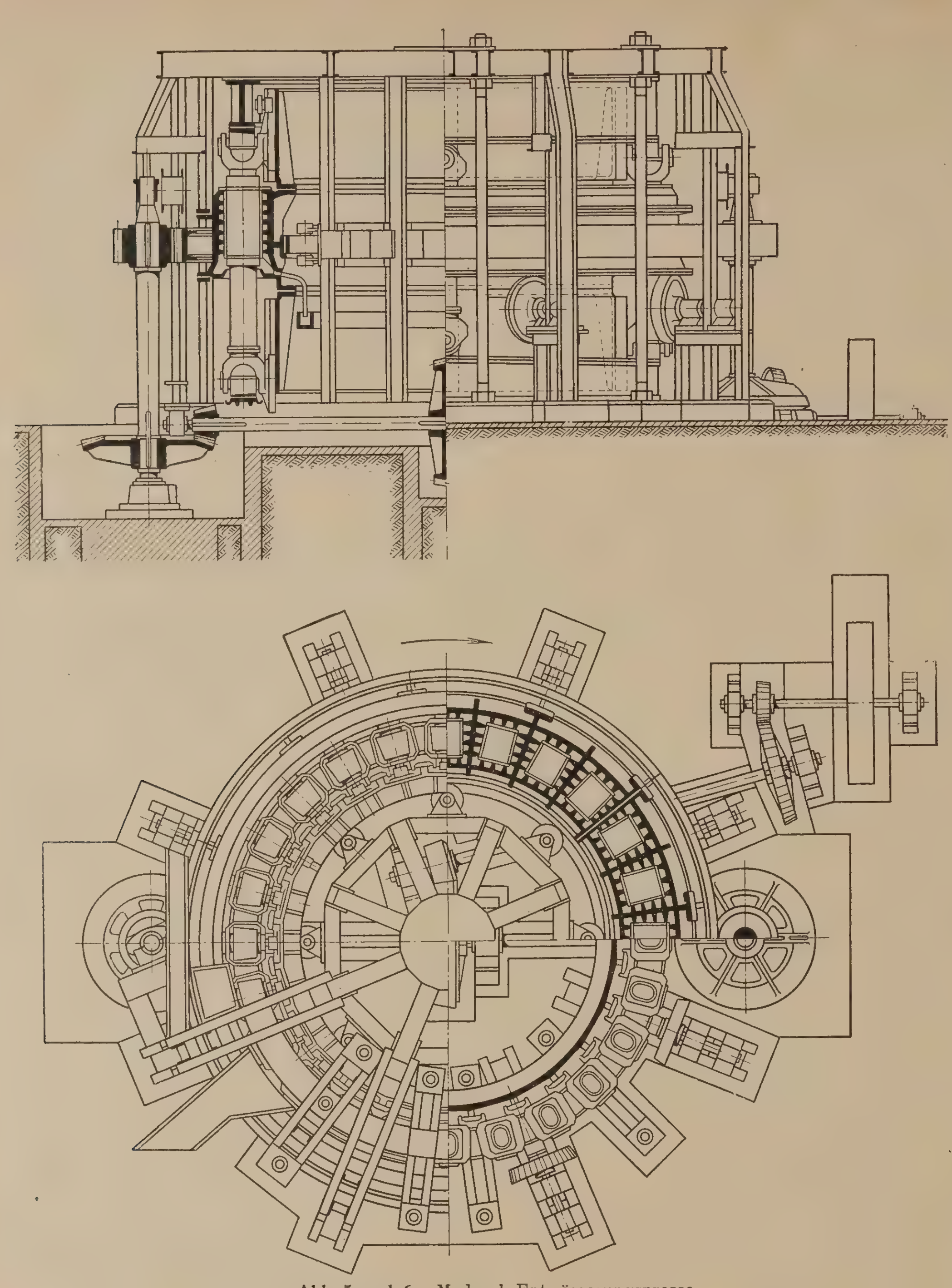


Abb. 5 und 6. Madruck-Entwässerungspresse.

für die Bewirtschaftung sehr ungünstig sind und deshalb nur spät in Kultur genommen werden können. Es wäre deshalb auf eine starke Zusammenfassung des Torfabbaues hinzuwirken. Vielleicht ist es möglich, durch das sogenannte Breitorfverfahren, bei dem der Torf umgeformt zum Trockenfeld gebracht, dort ausgebreitet und erst auf dem Trockenfelde in Soden geteilt wird, diesem Ziel näher zu kommen.

Am weitesten in der Mechanisierung und der Zusammenfassung des Abbaues geht das Spritzverfahren, das darauf beruht, daß mit einem scharfen, unter hohem Druck aus einem Mundstück geschleuderten Wasserstrahl die Torfwände abgeschwemmt und zermahlen werden, Abb. 2. Der so entstehende dünne Torfbrei wird zum Trockenfeld gepumpt, Abb. 3, wo man das Wasser aus ihm absickern läßt. Um Trockenfeld und Abbau unabhängig voneinander arbeiten zu lassen, ordnet man einen Zwischenbehälter an, in den der Torfbrei gepumpt und aus dem er zur Beschickung der Trockenfelder entnommen wird, Abb. 4. Das Bedenken, daß man bei diesem Verfahren zu dem vielen Wasser, das der Rohtorf enthält, noch weiteres Wasser hinzubringt, und daß dadurch ja die Trocknung erst recht erschwert würde, ist nicht ganz zutreffend, denn das Überschußwasser, das dem Torf zugesetzt wird, ist nur sehr locker gebunden und sickert rasch im Trockenfelde ab. Rein technisch betrachtet, ist das Verfahren recht einfach, wenngleich berücksichtigt werden muß, daß die Torfmenge, die in 1 m³ Wasser von der Förderstelle zum Trockenfelde geschickt wird, sehr gering ist. Auch muß sich noch zeigen, in welcher Weise das so abgebaute Land kulturfähig gemacht werden kann. Die wünschenswerte Zusammenfassung ist aber für den Abbau vorhanden und dieser liefert schon in einem Jahre Flächen, die sich in ihren Ausmaßen sehr gut für die Bewirtschaftung eignen würden[1]).

Alle diese Verfahren arbeiten mit Lufttrocknung. Deren Schwierigkeit liegt darin, daß sie an Witterungsverhältnisse gebunden und dadurch, um Frost zu vermeiden, in ihrer Ausübung auf 80 bis 100 Tage im Jahre beschränkt ist. Eine Unzahl von Verfahren glaubten diese Mängel durch die Einführung einer künstlichen Entwässerung des Rohtorfes beseitigen zu können, aber so einfach die Aufgabe erscheint, so schwierig ist sie tatsächlich. Der Grund für diese Schwierigkeit liegt wieder in der kolloiden Natur des Torfes, der das Wasser mit äußerster Gewalt festhält. Dieses Verhalten ist vergleichbar etwa dem der Schmierseife, die man hohem Druck aussetzen kann, ohne daß sie beachtliche Mengen Wasser abgibt. So kriecht unveränderter Rohtorf eher durch die feinsten Undichtigkeiten des Preßgefäßes, als daß er wesentliche Mengen von Wasser abgibt; und bei entsprechender Vorsorge, die jede Undichtigkeit verhindert, dauert es außerordentlich lange Zeit, bis das abpreßbare Wasser abgeflossen ist.

Mit fortschreitender Erkenntnis sind alle Möglichkeiten[2]), die eine Abschwächung oder gar Zerstörung des kolloiden Zustandes herbeiführen können, am Torf versucht worden. Man hat Elektrolyte zugesetzt, Öle, die das Wasser verdrängen, man hat auf hohe Temperatur in Gegenwart von Wasser erhitzt, man hat den Torf dem elektrischen Strom ausgesetzt. Alle diese Verfahren bestätigen zwar durch einen gewissen Erfolg die Forderungen der Kolloidkunde, aber ihre Wirkungen sind nicht so weitgehend, daß ein wirtschaftlicher Erfolg hätte erzielt werden können. Nur ein Verfahren bietet zurzeit gewisse Aussichten auf Erfolg. Es ist das Verfahren von Brune und Horst, an dessen technischer Vervollkommnung die Erfinder mit Zähigkeit nun bald 15 Jahre gearbeitet haben. Es wird neuerdings von der Gesellschaft für maschinelle Druckentwässerung (Madruck), einer Tochtergesellschaft der Demag, gefördert[3]). Das wesentliche ist hierbei, daß zerkleinerter und gleichmäßig verarbeiteter Rohtorf in kleinen Bröckchen mit Trockentorf eingepudert wird. Ein Haufwerk solcher eingepuderter Krümelchen wird gepreßt. Durch diese Behandlung sind in den Preßkuchen hinein unzählige Kanäle gebracht, in denen das

[1]) Über das Spritzverfahren (Hydrotorfverfahren) werden wir demnächst einen ausführlichen Aufsatz bringen. Die Schriftleitung.

[2]) Eine Übersicht über diese Verfahren (G. Keppeler, Die künstliche Entwässerung von Rohtorf, Techn. i. d. Landwirtsch.) ist als Sonderdruck erschienen.

[3]) Vgl. Z. Bd. 66 (1922) S. 190.

Wasser aus dem Torf herauswandern kann. Dadurch ist es möglich geworden, den Torf auf 50 vH Wassergehalt abzupressen. Neben der Verbesserung der vorbereitenden Maßnahmen für das Abpressen geht die Verbesserung der Preßeinrichtungen einher, die zum Bau der Madruckpresse geführt hat, in der ununterbrochener Betrieb, gute Leistung und billigste Bauart vereint sind. Ihre bauliche Durchbildung verdanken wir Dipl.-Ing. Ottensen. Wie in einem Karussell kreisen senkrecht stehende Preßkästen, Abb. 5 bis 8, deren Preßstempel zwangläufig zwischen verengten und erweiterten Bahnen das Preßgut mehr und mehr zusammendrücken, ausstoßen und dann den Kasten zu erneuter Füllung wieder freigeben und erneut ihre Arbeit des Pressens durchführen. Auf diese Weise hofft man ein Gut von 50 vH Wassergehalt zu erzeugen, das in seinen Eigenschaften und dem Gestehungspreis der Rohbraunkohle gleichkommt. Die Hauptbedeutung liegt aber darin, daß wir mit einem solchen Verfahren unabhängig von der Witterung sind und damit die Torfherstellungsperiode weit über das bisherige Maß verlängern können. Gleichzeitig damit wird die stärkste Zusammenfassung des Betriebes erreicht, da die Torfförderung auf einen engen Raum zusammengedrängt werden kann und die großen, für die Trocknung notwendigen Flächen wegfallen. Sie können in diesem Fall unmittelbar der Oberflächenkultur zugeführt werden. So werden z. B. beim Lufttrockenverfahren bei gleicher Jahresleistung 189 ha gebraucht, gegenüber 5 ha bei maschineller Torfentwässerung.

Eine Presse älterer Form ist in Rußland von der Madruck aufgestellt worden. Die Presse ist dort im Versuchsbetriebe sehr gut gelaufen. Aber da die russischen Torfleute die Durchführung noch anderer Versuche mit der Presse verfolgen, ist eine Erprobung im Dauerbetriebe mit Torf, der nach dem oben geschilderten Grundsatz bearbeitet ist, noch nicht möglich gewesen und infolgedessen ein endgültiges Urteil über die wirtschaftliche Seite noch nicht zu fällen. Immerhin müssen wir das Verfahren als das erste bezeichnen, das einigermaßen Aussicht bietet, die alte Aufgabe der künstlichen Entwässerung des Rohtorfes wirtschaftlich zu lösen. Die russischen Versuche haben auch deshalb besondere Bedeutung, weil dort die Frage bearbeitet wird, inwieweit es möglich ist, das Spritztorfverfahren und das Madruck-Preßverfahren miteinander zu verbinden. Wenn dieses wirtschaftlich möglich wäre, so wäre damit die Torfgewinnung auf eine ganz neue Basis gestellt.

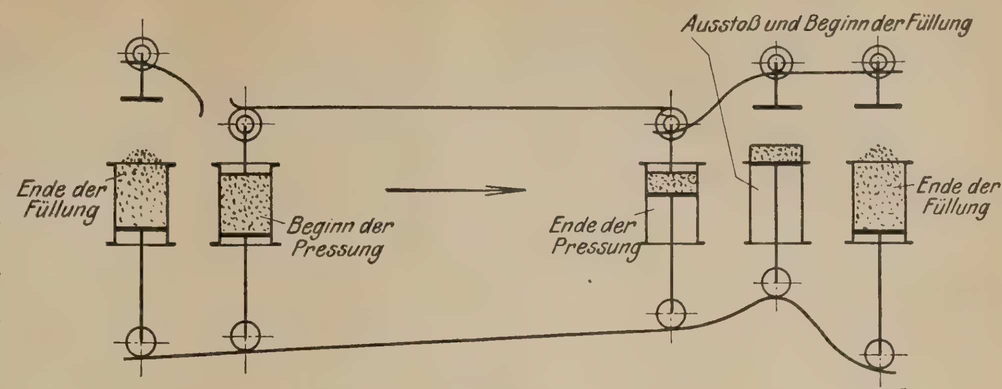


Abb. 7. Schematische Darstellung des Preßvorganges.

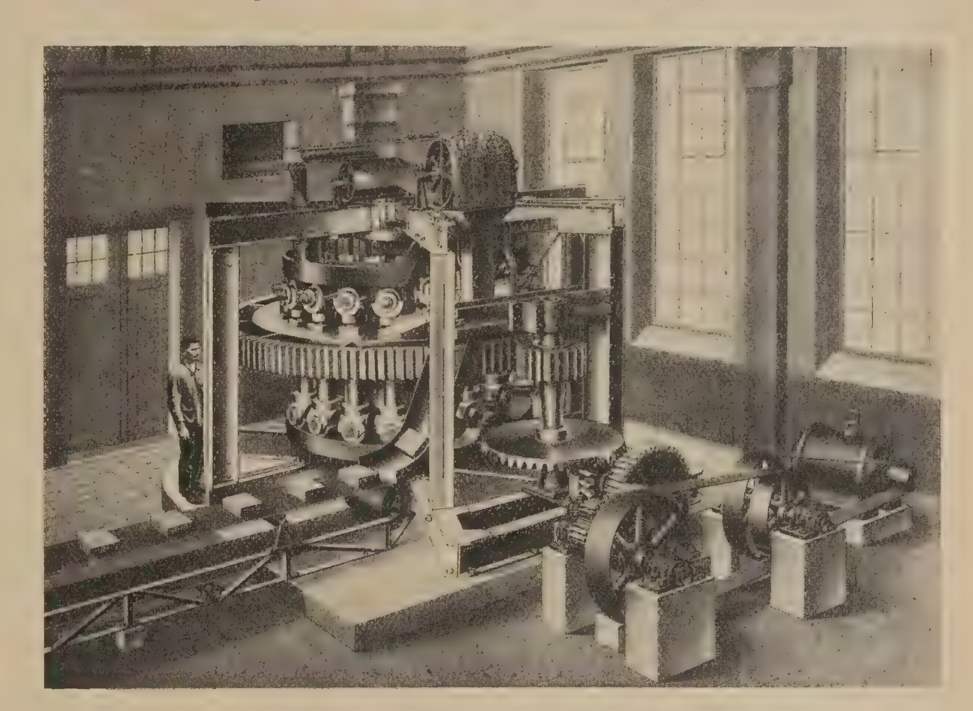


Abb. 8. Presse für das Madruckverfahren.

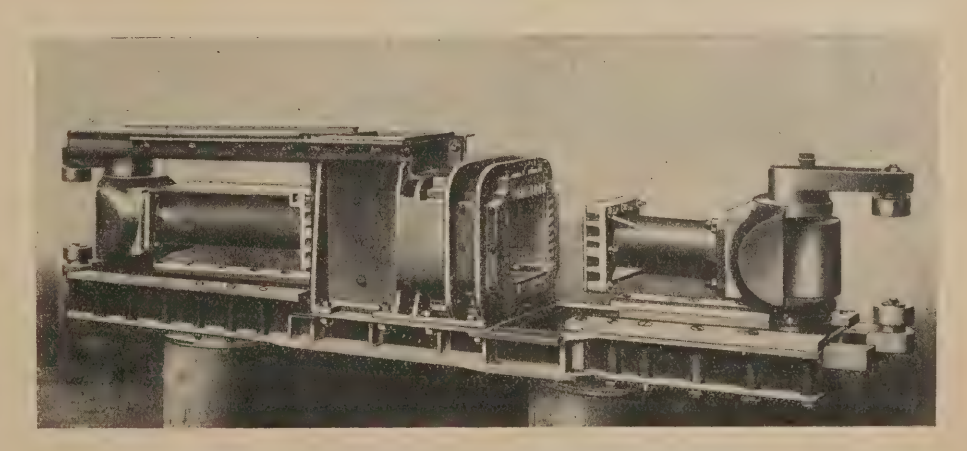


Abb. 9. Stempel-Strangpresse zum Brikettieren von Torf.

Torfbrikettierung.

Die wenig gleichmäßige Form der Torfsode im Verhältnis zum Braunkohlenbrikett, die etwas geringere Dichte und vor allem der manchmal unerfreulich hohe Wassergehalt des Torfes lassen immer wieder die Bestrebung aufkommen, Torf zu brikettieren. Diese Aufgabe enthält technisch so gut wie keine Schwierigkeiten und es muß erneut daran erinnert werden, daß die ganze Brikettierkunst, wie wir sie in der Braunkohlenindustrie in großem Umfange verwirklicht finden, ihren Ausgang nahm von der Torfbrikettierung. Exter hat schon in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, also 20 Jahre ehe man anfing, Braunkohle zu brikettieren, auf bayerischen und hannoverschen Mooren erfolgreich Torf brikettiert. Im Grunde genommen ist es immer noch dieselbe Stempel-Strangpresse, die Exter zum ersten Male angewandt hat, die heute in allen Braunkohlen-Brikettieranstalten benutzt wird, Abb. 9. Die Sammlungen der Technischen Hochschule Hannover bewahren Originalstücke aus jener Frühzeit der Brikettierung auf, sowohl aus dem Haspelmoor bei München wie aus Neustadt a./Rbg. bei Hannover, wo ebenfalls schon 1856 die Brikettierung versucht wurde. Wenn trotz der technischen Lösung, die wie gesagt, im wesentlichen vorhanden ist, bis jetzt die Brikettierung des Torfes keinen großen Umfang angenommen hat, so liegt es daran, daß die Herstellung des Torfes für die Brikettierung teuerer kommt, als die Rohbraunkohle, die zur Braunkohlenbrikettierung dient. Es bleibt auch die Frage (wenn man von Geschmackfragen absieht), ob die geringe Wertverbesserung von einer guten Torfsode zum Torfbrikett durch die Unkosten der Brikettierung gelohnt wird. Aber von solchen Erwägungen läßt sich häufig der Verbrauch nicht beeinflussen,

wenn die Ware handlicher ist und ansprechender aussieht. Es wird deshalb immer wieder die Brikettierung einzuführen versucht. Auch jetzt sind neue Brikettieranstalten entstanden, die aber darunter leiden, daß die Grundlage des Betriebes, die Torfgewinnung, nicht genügend durchgebildet und erprobt wurde, ehe man mit der Brikettierung begann. Grundsätzlich wird man sagen können, daß kein Torfwerk, das nicht für sich lebensfähig ist, durch Brikettierung sein Dasein wird retten können. Schließlich ist in diesem Zusammenhang auf die Gewinnung von Torfpulver hinzuweisen, das bei großen Versuchen in Schweden hervorragende heiztechnische Eigenschaften gezeigt hat.

Torfverwendung.

Ebenso wichtig wie der Torfabbau ist die Veredlung des Torfes. Normal getrockneter Maschinentorf ist ein ausgezeichneter Brennstoff, der mit 3000 bis 3500 kcal zwischen dem Braunkohlenbrikett und der Rohbraunkohle steht, vor dieser aber den wesentlichen Vorzug hat, daß er auf jeder Feuerung ohne Veränderung brennbar ist. Sein niedriger Entzündungspunkt, die große Brenngeschwindigkeit, seine lange, reine Flamme und der geringe Gehalt an einer zudem gutartigen Asche, das Wegfallen des „Backens" und die Erhaltung der Stückform im Feuer, machen ihn zu einem vortrefflichen Brennstoff. Es ist schon angedeutet, daß ihm der Mangel großer Raumbeanspruchung bei allen Arten der Verwendung anhaftet. Das ist der Grund gewesen, daß man schon vor dem Kriege dazu überging, von der Beförderung auf größere Entfernung abzusehen und ihn zur Verfeuerung in elektrischen Kraftwerken zu verwenden. Diese Entwicklung ist aufgehalten worden, durch die Kohlennot der letzten Jahre. Die Tatsache, daß der Torf der öffentlichen Bewirtschaftung nicht unterlag, hat seinen Preis so sehr gesteigert, daß die ihren Strompreis auf der Grundlage des Kohlenpreises berechnenden Elektrizitätswerke Torf nicht mit Vorteil verwenden konnten. Vielleicht zwingt aber die weitere Entwicklung die Torfindustrie wieder stärker, den Torf in Zentralen zu verfeuern.

Vergasung und Entgasung.

Besondere Beachtung verdient die Vergasung des Torfes. Kein Brennstoff, vielleicht Holz ausgenommen, vollzieht im Gaserzeuger so glatt die Überführung in Brenngas. Hier kommt dem Torf zugute, daß das einzelne Torfstück auf dem ganzen Wege durch den Gaserzeuger stückig erhalten bleibt, und so den Durchgang für die Gase freihält, daß es ferner bei der Abschwelung der flüchtigen Erzeugnisse eine sehr reaktionsfähige Kohle zurückläßt, so daß in verhältnismäßig niedriger Schicht die weitestgehende Reduktion von Kohlensäure und Wasserdampf zu Kohlenoxyd und Wasserstoff erreicht wird. Das Torfgas zeichnet sich aus durch Schwefelarmut, hohe Heizkraft (1100 bis 1300 kcal), ferner durch eine lange gleichmäßige Flamme. Diese Vorzüge haben dazu geführt, daß Torf in den Glashütten, wo er örtlich leicht erreichbar ist, aber auch weit abseits davon und in einer Reihe von Eisen- und Stahlwerken für die Gaserzeugung angewandt wird. Auch der Erzeugung von Gas in Sauggasanlagen wird wieder mehr Beachtung geschenkt. Die Bestrebungen, die vor 10 bis 15 Jahren am stärksten waren, den bei der Vergasung entstehenden Teer, der den Motorbetrieb stört, im Gaserzeuger selbst durch Feuergeneratoren oder durch umgekehrte Verbrennung zu zerstören, zeigten sich in ihrer Anwendung auf den Torf wenig erfolgreich, weil die Durchführung dieser Art von Vergasung sehr trockenen Torf voraussetzte. Die Praxis verlangt aber gerade eine geringe Empfindlichkeit des Gaserzeugerbetriebs gegen Schwankungen im Wassergehalt. Die neuere Richtung, in normalen Gaserzeugern zu vergasen und durch gründliche Reinigung den Teer zu beseitigen, vereinfacht die Verhältnisse wesentlich und wird der Förderung dieses Gebietes zugute kommen, um so mehr, als trotz der starken Entwicklung der Überlandkraftwerke das platte Land großen Wert auf den Besitz unabhängiger Kraft- und Lichtquellen für den eigenen Betrieb legt. Es ist deshalb anzunehmen, daß gerade auf diesem Gebiet eine weitere Ausbreitung der Torfanwendung stattfinden wird.

Die Entgasung des Torfes liefert asche-, schwefel- und phosphorarme Koks, die sich für metallurgische Arbeiten, Edelstahlgewinnung, Zinkdestillation, Bearbeitung von Kupfer usw. besonders gut eignen und der Holzkohle überlegen sind. Die Entwicklung dieses Gebietes, das seit Jahrzehnten immer viel Aufmerksamkeit fand, ist aufgehalten in wesentlichen dadurch, daß der Verbrauch an Torf in einer Torfkokerei verhältnismäßig groß ist, weil nur etwa ein Drittel des verkokten Torfes als Torfkoks anfällt. In der Durchführung der Entgasung hat nun eine neue Entwicklung eingesetzt, die eine Verbilligung herbeiführt. Man hat bisher den Torf in von außen beheizten Retorten verkokt, jetzt geht man zur Innenbeheizung über, d. h. man schickt durch die Torfschicht, die in der stehenden Retorte liegt, einen heißen luftfreien Gasstrom. Die Verkokung des Torfes vollzieht sich bei verhältnismäßig niedriger Temperatur und liefert selbst Wärme, so daß die Durchführung des Verfahrens mit Innenheizung leicht zu erreichen ist, weit größeren Durchsatz der Ofeneinheit liefert und außerdem eine wesentliche Ersparnis an Heizgas bringt. Bei dieser Art der Entgasung werden auch nicht unbeträchtliche Mengen von Teer erhalten, und zwar 6 bis 10 vH der verkokten Torfsubstanz (früher 2 bis 3 vH).

Der Wert dieses Teeres wird aber meist überschätzt. Er hat zwar eine Reihe wertvoller Eigenschaften. Sein Phenolgehalt ist im Verhältnis zum Braunkohlen-Schwelteer gering. Die Neutralöle haben einen sehr niedrigen Entzündungspunkt, der sie für die Verwendung in Dieselmaschinen besonders geeignet macht, ja wir finden auch verhältnismäßig große Mengen niedrig siedender Bestandteile, die man als Benzin bezeichnen möchte. Aber alle Bestandteile des Teers sind — chemisch gesprochen — stark ungesättigt, bzw. unbeständig, so daß sie an der Luft und im Licht Veränderungen erfahren. Sie verharzen und werden asphaltähnlich. Diese Eigenschaften sind für die Verwendung sehr störend. Sie zu beseitigen wäre möglich, wenn der Torfteer für sich Verarbeitung fände. Aber um eine solche durchzuführen, sind nicht genügende Torf-Teermengen vorhanden. So entsteht der eigentümliche Zustand, daß die Entwicklung der Torfkokerei gehemmt wird durch den Mangel an Verwertungsmöglichkeiten für den Teer, und die Aufarbeitung des Teeres in der ihm angemessenen Weise ist unwirtschaftlich, weil die Torfkokerei nicht genügend ausgedehnt ist.

Aber ich glaube doch, daß die Torfkokerei sich allmählich auf ihrem Wege durchsetzt. Zurzeit scheint eine besondere Anwendung der Torfkoks diese Bewegung zu beschleunigen. Man hat Kraftwagen gebaut, Omnibusse, Lastkraftwagen, die durch kleine Sauggasmotoren betrieben werden, die als Vergasungsstoff Torfkoks erhalten, Abb. 10. Es werden bestimmte Anforderungen an diese Koks gestellt (niedriger Entzündungspunkt, geringe Leitfähigkeit und vor allem die Möglichkeit, ein Gas von hohem Heizwerte zu erzeugen). Die Firma Jul. Pintsch A.-G., Berlin-Fürstenwalde, hat sowohl in der Herstellung solcher Torfkoks wie in der Ausbildung der Gaserzeuger und Motoren große Fortschritte gemacht. Sie baut u. a. einen Omnibus, der mit einem mit Torfkoks betriebenen „Ipagnom"-Generator ausgestattet ist und der 0,4 kg/PS Torfkoks verbraucht. Die Berliner Omnibusgesellschaft hat Probefahrten mit solchen Wagen veranstaltet, und es hat sich gezeigt, daß sowohl die notwendigen Fahrgeschwindigkeiten wie die gewünschte Fahrstrecke mit den mit geeigneten Torfkoks gespeisten Sauggasgeneratoren erreichbar ist. Es wird auch behauptet, daß in London bereits 300 solcher Kraftwagen laufen, bei denen dänische Torfkoks als Betriebstoff dient. Es ist kein Zweifel, daß wir in dieser Neuerung einen wichtigen Weg sehen können, um mit inländischen Erzeugnissen aus der Not an Betriebsstoffen für Kraftwagen herauszukommen.

Der junge Moostorf.

Alle diese Verwendungen betreffen die älteren weitgehend zersetzten Schichten des Hochmoores. In den meisten Mooren sind aber diese Schichten überlagert von einer wenig zersetzten Torfart, dem jüngeren Moostorf, der noch deutlich die Struktur der aufbauenden Pflanzen zeigt und kaum für die Herstellung eines dichten Brenntorfes geeignet ist. Die anderweitige Verwertung dieser Schichten ist sehr wesentlich. Ihre Hauptverwendung finden sie in der Torfstreufabrikation. Die Torfstreu hat sehr große Aufsaugefähigkeit für wässerige Flüssigkeiten und ist dadurch ein besonders wertvolles Material für die Stallstreu. Nicht nur ihre Aufsaugefähigkeit übertrifft die des Strohes um ungefähr das Sechsfache, sondern sie hat auch wesentlich höhere Erhaltungskraft für die Düngewert besitzenden Stoffe in den Ausscheidungen der Nutztiere. Bei ihrer Verwendung ist es möglich, sehr viel größere Mengen der dem Boden entzogenen Werte ihm wieder zuzuführen, so daß auch von dieser Seite her das Moor fördernd in die Steigerung der Nahrungsmittelerzeugung eingreift.

Neben der Torfstreuherstellung gehen die Erzeugung von Isoliermitteln für Kälte- und Wärmeschutz, die Erzeugung von Torfmull für die Verpackung und Frischhaltung von Gemüsen

und Früchten und eine ganze Reihe anderer Verwendungen her, die weiter gestatten, die Torfsubstanz nutzbringend zu verwenden. Wenn wir z. B. mitten im Winter zu billigem Preise frische Tomaten auf unserem Tische finden, so verdanken wir dies der deutschen Torfmullindustrie, die ihr Erzeugnis nach den kanarischen Inseln sendet, wo die unreifen grünen Früchte in Torfmull verpackt und versandt werden, aus der wir sie dann in leuchtender und saftiger Reife entnehmen.

Bei all diesen Verwendungen ist aber zu beachten, daß die Einrichtung der Torfwerke unter Berücksichtigung der Moorverhältnisse geschehen muß und daß auch der Betrieb selbst erhebliche Anforderungen an die Leitung stellt. Wenn Mißerfolge da und dort aufgetreten sind, so liegt es daran, daß solche Werke ohne Sachkenntnis und ohne Vorsorge für geeignete Wege, Entwässerung oder ohne Prüfung der anstehenden Torfart aufgebaut wurden. Auch darf nicht erwartet werden, daß eine solche Anlage in kürzester Frist ausgebaut werden kann. Man muß rechnen, daß es drei Jahre dauert, bis ein Torfwerk voll zur Entwicklung kommt. Wo diese Voraussetzungen erfüllt sind, stehen die Torfwerke auf gesundem Boden, und wenn die Beseitigung der Kohlennot den Absatz des Torfes in entlegenere Gebiete wieder erschweren sollte, ist es diesen Werken möglich, ihren Torf in Kraftwerken oder nahe gelegenen Industrien, sowie in der Veredlung des Torfes zu verwerten.

Torf und Landwirtschaft.

Aber auch die umfangreichste technische Verwertung des Torfes kann nicht rasch genug Flächen für landwirtschaftliche Nutzung freilegen. Es ist notwendig, sämtliche, auch die nicht technisch genutzten Flächen unmittelbar der landwirtschaftlichen Kultur zuzuführen und die Tatsache, daß dies möglich ist, gibt für die heutigen Verhältnisse den Mooren ihre besondere Bedeutung. Die Entwicklung dieses Verfahrens setzt ein mit dem Aufkommen der künstlichen Düngung. Erst diese hat es ermöglicht, den großen Nährstoffmangel, den der Hochmoorboden von Haus aus hat, durch künstliche Zugabe zu ergänzen. Das besondere Arbeitsverfahren, das sich hierauf begründet, ist eine Schöpfung, die wir vorwiegend den Arbeiten der Bremer Moorversuchsstation, vor allem den Herren Fleischer, Salfeld, Tacke und Weber verdanken. Der Entwässerung, über die wir schon gesprochen haben, folgt der Umbruch der wilden Pflanzen, die das Hochmoor bedecken. Ebenso ist eine Zertrümmerung und Zerkleinerung der in verhältnismäßig großen Schollen abgeworfenen Bunkerde bei der Fehnkultur notwendig. Für eine beschleunigte Durchführung der Kulturmaßnahmen ist Handarbeit auf diesem Gebiete zu langwierig. Seit Jahrzehnten hat man daran gearbeitet, Dampf- und Motorpflüge dem besonderen Zwecke dieses Umbruches anzupassen. Die Aufgabe ist nicht einfach. Die Oberfläche der Moore besteht aus einem dicht und fest verfilzten Wurzelwerk. Die einzelne Scholle, die der Pflug umwirft, hat starken inneren Zusammenhalt und bedarf einer weiteren Zerkleinerung durch besonders gestaltete Eggen, und auch dann ist mehrfache Arbeit erst wirklich von Erfolg. Es kommt hinzu, daß für die mechanischen Geräte das frisch entwässerte Hochmoor nicht leicht die notwendige Tragkraft hat. Den Bedingungen, die sich auf dem Moore finden und die an die Arbeit eines Moorkulturgerätes zu stellen sind, kommt am meisten entgegen der Landbaumotor von Lanz, Abb. 10, dessen Wirkung darauf beruht, daß eine Walze, die mit einer großen Anzahl von Hacken besetzt ist, in sehr rascher Umdrehung durch die Vegetationsschicht des Moores hindurchgeführt wird. Dadurch wird diese innig in sich verfilzte und vernähte Schicht in kleinste Teile zerhackt und so eine Kulturschicht von vorzüglicher Beschaffenheit bereitet.

Eine besonders wichtige Frage ist die Bemessung des Düngers. Die größte Rolle spielt dabei der Kalk, der eine mehrfache Aufgabe zu erfüllen hat. Er soll nicht nur der Pflanze, die für ihren Aufbau nötigen Kalkmengen liefern, sondern er dient in erster Linie zur Entsäuerung des Bodens. Aber es hat sich gezeigt, daß diese Maßnahme nicht nach roher Schätzung ausgeführt werden darf, sondern daß je nach der Art, insbesondere nach dem Zersetzungsgrade des Torfbodens die Kalkmenge zu geben ist. Werden in dieser Beziehung nicht die richtigen Mengenverhältnisse eingehalten, so werden nicht die vollen Erträge erreicht. Das Studium dieser Frage hat gezeigt, daß die Ursache des Versagens unrichtig gegebener Kalkmengen in einer Beeinflussung des Bakterienlebens im Boden liegt. Nur bei richtiger Kalkgabe finden die Bakterien die richtigen Lebensbedingungen, die der Pflanze den Stickstoff in genießbarer Form zubereiten. Diese Arbeiten sind zwar nicht von unmittelbarem Einfluß auf die Verhältnisse auf dem mineralischen Boden gewesen, aber es zeigt sich immer mehr, daß dort ganz ähnliche Verhältnisse vorliegen, und daß merkwürdigerweise die Ackerkrume selbst auf einem von Natur kalkreichen Boden durch die Einwirkung der landwirtschaftlichen Kultur kalkarm und sauer geworden ist. Dadurch ergibt sich, daß die Frage des Kalkens, deren Besonderheit auf dem Moore schon lange erkannt ist, auch auf mineralischem Boden, selbst in kalkreichen Gegenden eingehende Beachtung verdient.

Von den für die Moorkultur notwendigen Düngemitteln sind Kalk und Stickstoff in ausreichenden Mengen im Inland zu beschaffen, jedoch Phosphorsäure weniger, obwohl gewisse Mengen in der Form der Thomasschlacke einheimischen Quellen entstammen. Allerdings hat auch hier der Wegfall der lothringischen Erze einen erheblichen Ausfall gebracht. Die Zufuhr der Phosphorsäure liegt aber im Moore verhältnismäßig günstig, weil der Moorboden unaufgeschlossene Rohphosphate erdiger Art zu verwerten vermag.

Neben der Entwässerung, Bodenbearbeitung und Düngerzufuhr stellt die Wahl geeigneter Saat noch einen wichtigen Umstand dar, besonders der Grassämereien, die bis vor kurzem ganz dem Ausland (Irland, Neuseeland) entstammten. Mehr und mehr gewinnt auch bei uns der Anbau von Grassaaten Bedeutung.



Abb. 10. Landbaumotorwagen von Heinrich Lanz, Mannheim.

Was die Kulturarten, die auf den Mooren gepflegt werden, betrifft, so liegt beim Hochmoore die Hauptstärke im Anbau von Wiesen und Weiden. Das Hochmoorgrünland steht in seinen Erträgen hinter den fetten Wiesen und Weiden des Marschlandes nicht zurück, 80 bis 100 dz besten Heues bzw. 335 kg Lebendgewicht-Zunahme der Tiere in Verlauf einer Weidezeit als Erträge eines Hektars erläutern die Bedeutung der Moorkultur für unsre Ernährung. Auch Halmfrüchte werden gebaut, jedoch mehr für den Eigenbedarf der Kolonisten. Besonders erfolgreich ist noch der Kartoffelbau. Versuche auf neukultiviertem Hochmoorboden auf dem Moorgut der Stadt Dortmund ergaben z. B. mit 18 Kartoffelsorten je Hektar 234,4 dz mit einem durchschnittlichen Stärkegehalt von 15,3 vH, während von gleichen Kartoffelsorten in 37 über das ganze Reich verteilten Wirtschaften auf mineralischem Boden im Durchschnitt nur 200,1 dz mit durchschnittlich 16,8 vH Stärke, geerntet wurden.

Aber die Hauptkulturform auf dem Hochmoore wird doch das Grünland bleiben, und das gerade ist von allgemeiner volkswirtschaftlicher Bedeutung. Denn wir sahen ja eingangs, daß das Ausbleiben großer Mengen ausländischen Kraftfutters unsre Ernährung stark beeinträchtigt.

Die Überführung der wilden Moore in landwirtschaftlich genutztes Land hat noch die weitere Bedeutung, daß sie gestattet, eine große Anzahl Volksgenossen (man schätzt die Zahl auf 100 000 bis 150 000 Familien) in den neuerschlossenen Gebieten anzusiedeln. Zu den eigentlichen Siedlern treten noch viele, die im Güteraustausch mit ihnen leben. Hier darf auch nicht unerwähnt bleiben, daß gerade die industrielle Verwertung des Moores diese Ziele unterstützt. Die Zunahme der Wohlfahrt ist in den Gebieten, wo die Torfverwertung neben der landwirtschaftlichen Nutzung des Moores einhergeht, viel lebendiger als in Gebieten, die nur Landwirtschaft treiben.

Wie auch die Nutzung des Moores sich vollzieht, sie bietet uns die Möglichkeit, manchen Volksgenossen aus der überfüllten ungesunden Großstadt in die freie Luft des Landes zu bringen. Es ist allerdings nicht jeder als Ansiedler geeignet. Tüchtigkeit, Sparsamkeit und Strebsamkeit und vor allem Verständnis für landwirtschaftliche Arbeiten sind die Grundlage für das neue Leben. Wo jedoch diese Bedingungen erfüllt sind, da winkt noch ein zwar arbeitsreiches, aber lohnendes Dasein. [A 273]

ANGELEGENHEITEN DES VEREINES.

ÜBERNAHME DES KRIEGERDENKMALS IM VEREINSHAUSE.

Ansprache des Kurators in der Hauptversammlung zu Hannover.

Ein Jahrzehnt ist in wenig Wochen seit Beginn des Weltkrieges verflossen. Der Gewaltakt zu Versailles hat diesen Krieg nicht beendet. Noch heute steht der Feind mitten im deutschen Lande, noch heute geht uns gegenüber Macht vor Recht. Ungeheuer sind die Lasten, die wir tragen sollen, und unerhört sind die Bedrückungen, die unsre Volksgenossen im besetzten Gebiet für uns alle zu ertragen haben. Mehr als je zuvor müßten wir aus den Folgen des verlorenen Krieges heraus verstehen, was die Heldentaten der deutschen Männer auf den Schlachtfeldern Europas bedeuteten. Auch viele Tausende unserer Vereinsmitglieder haben an der Front ihr Leben eingesetzt, um in dem uns aufgedrungenen Kampf die Heimat zu schützen. Viele Hunderte sind gefallen. Es war uns eine selbstverständliche Dankespflicht, ihr Andenken durch ein würdiges Denkmal in unserem Vereinshause zu ehren. Von Professor Wandschneider geschaffen, sehen Sie es im Bilde vor sich. Es trägt die Inschrift:



Den Mitgliedern, die der Weltkrieg uns nahm, zum ehrenden Gedächtnis.
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE.

Auf den beiden langen Bronzetafeln stehen 581 Namen von Mitgliedern unseres Vereins verzeichnet. Es ist uns nicht möglich, am Ort selbst durch eine die Gesamtheit unseres Vereines darstellende Hauptversammlung das Denkmal feierlichst zu übernehmen. Wir lassen in dieser Stunde einen Lorbeerkranz am Denkmal niederlegen und bitten Sie, die Weihe zu vollziehen, indem Sie sich zu Ehren der Gefallenen von Ihren Sitzen erheben. Unsre Toten, die gestorben sind, um uns das einige Deutsche Reich zu erhalten, mahnen uns in dieser Stunde, auch unsererseits mit allem, was wir sind, dafür einzustehen, daß uns die Einheit unseres geliebten Vaterlandes für alle Zeit erhalten bleibt. [M 399]

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 23 | SONNABEND, 7. JUNI 1924 | BD. 68

INHALT

Kokerei und flüssige Brennstoffe.

Von Dr. P. Fritzsche, Recklinghausen.

Überblick über die Gewinnung flüssiger Brennstoffe durch Verkoken von Steinkohle in der Kokerei, durch Leuchtgaserzeugung und im Tieftemperaturverfahren — Gewinnung und Aufarbeitung des Steinkohlenteers und der Benzolkohlenwasserstoffe — Grundlagen der Gewinnung von Tieftemperaturteer — Chemische Umwandlung von Kokereierzeugnissen in flüssige Brennstoffe.

Die Bedeutung der Steinkohlenverkokung, der Kokerei im engeren Sinne sowie der Leuchtgasgewinnung als Quelle für flüssige Brennstoffe hat man erst seit dem Ausbruch des Weltkrieges richtig gewürdigt, als durch das Versagen der ausländischen Zufuhren Deutschland und seine Verbündeten ausschließlich auf die Ausnutzung der heimischen Erzeugnisse angewiesen wurden. Der Zwang hierzu war um so drückender, als schon einige Jahre vorher in der Technik ein bedeutsamer Aufschwung in der Verwendung flüssiger Brennstoffe zu Heiz- und Kraftzwecken eingetreten war. Allerdings hatte eben dies die Aufmerksamkeit der Fachkreise auch schon auf die Verkokung der Steinkohle als Quelle hochwertigen Ersatzes für die früher aus ausländischer Einfuhr stammenden flüssigen Brennstoffe gelenkt und bereits vor dem Weltkriege bestand eine weit verbreitete Verwendung jener heimischen Erzeugnisse. Es sei erinnert an die umfangreiche Verwendung von Steinkohlenteeröl für die Befeuerung von Industrieöfen und Dampfkesseln, besonders von Schiffskesseln der Kriegs- und Handelsmarine, an die Verwertung solcher Teeröle und sogar von Rohteer in Dieselmotoren und ähnlichen Kraftmaschinen und besonders an den schon etwa seit 1908 einsetzenden und immer weiter steigenden Ersatz des Benzins bei Kraftfahrzeug- und gewerblichen Kleinmotoren durch das Benzol und die ihm nahestehenden Kohlenwasserstoffe, ein Fortschritt, der zu bedeutsamem Aufschwung der Benzolgewinnung in Steinkohlenkokereien, der weit überwiegenden Quelle alles in den Handel gelangenden Benzols, führte.

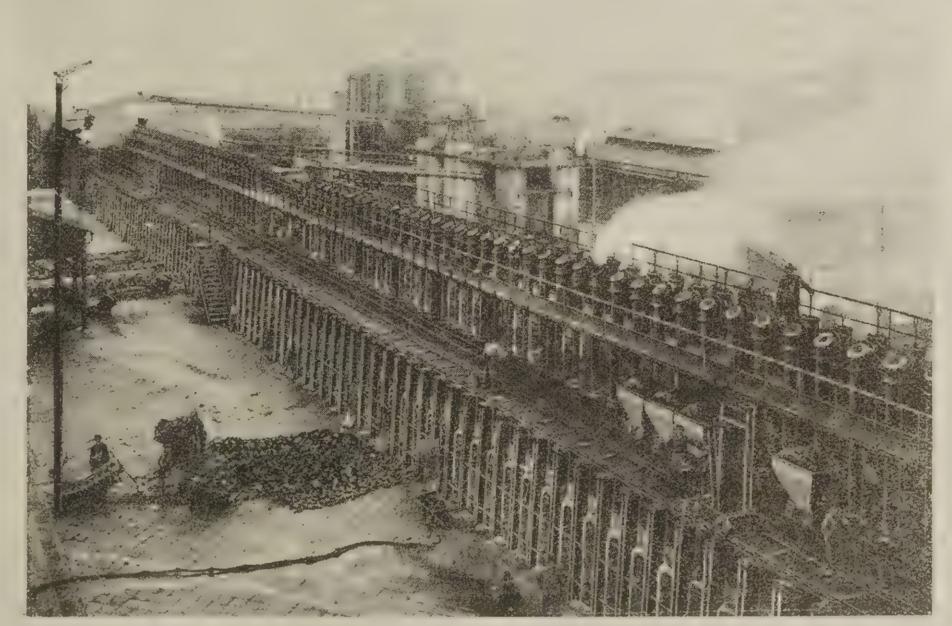


Abb. 1. Koksofenbatterie, Zeche Neucöln, Borbeck.

Es würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, über Eigenschaften und Verwendung der in Betracht kommenden flüssigen Brennstoffe erschöpfend zu berichten[1]). Hier soll nur das Wesentlichste über die Technik der Gewinnung flüssiger Brennstoffe aus der Steinkohle, soweit sie Erzeugnisse der Steinkohlenverkokung sind, gesagt werden. Der Begriff „Verkokung" soll dabei im weitesten Sinne gelten und alle Fabrikationsverfahren umfassen, wonach Rohkohle durch Erhitzen in geschlossenen Kammern oder Retorten, also durch trockne Destillation, in einen festen Rückstand (Koks, Halbkoks) und in ein Gemenge von Dauergasen und kondensierbaren Dämpfen umgewandelt wird; diese Behandlung wird zweckmäßig allgemeiner und umfassender als „Kohlendestillation" bezeichnet.

Die flüchtigen Erzeugnisse der Kohlendestillation sind in jedem Falle die Quelle der flüssigen Brennstoffe, die hier betrachtet werden. Daß Rohkohlen beim Erhitzen flüchtige, zu Flüssigkeit von ölartigem Charakter verdichtbare Bestandteile entwickeln, weiß man vielleicht schon so lange, wie man Kohlen als Brennstoffe in Feuerungen verwendet. Zur planmäßigen Trennung dieser Bestandteile zwang jedoch erst die Leuchtgaserzeugung aus Steinkohlen. Hier mußte das heiße und in unreinem Zustand erzeugte Rohgas zunächst auf gewöhnliche Temperatur gebracht, d. h. gekühlt, und außerdem noch bestimmten Reinigungen unterworfen werden. Bei der Kühlung des Rohgases erhielt man schon in den ältesten und einfachsten Anlagen

[1]) Z. Bd. 57 (1913) S. 1489 u. f. mit reichhaltigem Quellennachweis s. a. Z Bd. 68 (1924) S. 419 und Nr. 18

zwei kennzeichnende und völlig verschiedene Arten von Kondensaten, nämlich den spezifisch schwereren öligen Teer und eine wässerige Flüssigkeit, deren wichtigster Bestandteil neben zahllosen anderen Beimengungen das Ammoniak ist.

Der Teer stellt die wenigstens an Masse bedeutsamste Quelle aller durch Kohlendestillation erhältlichen flüssigen Brennstoffe dar, und es ist bemerkenswert, daß der Grundgedanke seiner Gewinnung, nämlich die Kühlung des Rohgases, ungeachtet aller Fortschritte und Verfeinerungen der Technik bis heute einen Hauptanteil an dem Gesamtverfahren behalten hat. An das von der Leuchtgaserzeugung her bekannte Vorbild lehnte sich unmittelbar auch die Steinkohlenkokerei an, wo der Koks das Haupterzeugnis ist und die flüchtigen Bestandteile „Nebenerzeugnisse" darstellen. Erst die neuzeitliche Entwicklung der Nebenerzeugnisgewinnung in der Kokerei hat für die Gewinnung des Teers Abwandlungen der alten Gaskühlung gebracht.

Später wurde erkannt, daß auch die bei der Kühlung des Rohgases flüchtig bleibenden Reste Bestandteile enthalten, die als Flüssigkeiten abgeschieden werden können und wie die meisten Bestandteile des Teers Kohlenwasserstoffe von hohem Heizvermögen sind, nämlich Benzol und seine Homologen Toluol, Xylol und weitere verwandte Körper der Benzolreihe, begleitet von zum Teil chemisch nahestehenden Verunreinigungen. Alle diese Stoffe hatte man allerdings früher auch schon im Teer entdeckt und aus ihm gewonnen; man fand jedoch, daß das nach der Kühlung entweichende Restgas ein Vielfaches, schätzungsweise das 20fache von diesen Stoffen gegenüber dem Teer enthält, und dies hat eine ganz neue Industrie, die Gewinnung des Benzols aus Steinkohlen-Destillationsgasen, entstehen lassen.

Der neueste Fortschritt dieses Gebietes besteht darin, die Kohlendestillation selbst so zu führen, daß Kohlenwasserstoffe von besonderem und wesentlich anderem Charakter, als man bisher von der Leuchtgasherstellung und der Kokerei her gewohnt war, erzeugt werden. Dies geschieht durch die sogenannte Tieftemperatur-Verkokung der Steinkohle, die zu Tieftemperaturteer oder Urteer und zu Urbenzin führt. Obgleich dieses Verfahren schon früher, namentlich in England, zu technischen Anwendungen geführt hatte, ist es doch erst von 1914 an im Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim von Prof. Franz Fischer und seinen Mitarbeitern Gluud und Schneider eingehend durchgearbeitet worden [1]).

Das wesentliche Ergebnis der Tieftemperatur-Verkokung der Steinkohle ist hiernach, daß man aus fast allen bituminösen Kohlen Teere und Öle gewinnen kann, die sich durch ihren großenteils paraffinartigen Charakter wesentlich von den hauptsächlich aromatische oder zyklische Kohlenwasserstoffe enthaltenden Teeren der gewöhnlichen Kohlendestillation bei höherer Temperatur (Leuchtgaserzeugung und Kokerei) unterscheiden; die überwiegend aromatischen Kohlenwasserstoffe der gewöhnlichen Steinkohlenverkokung sind sekundäre Zersetzungs- und Umwandlungsprodukte der Urteere und Urbenzine, die demgemäß als primäre Erzeugnisse jeder Steinkohlendestillation erklärt werden müssen. Die technische Entwicklung dieses neuesten Gebietes der Kohlendestillation ist trotz verheißungsvoller Anfänge zurzeit noch in vollem Fluß und läßt sich noch nicht einmal in bezug auf ihre Richtung absehen.

Für die flüssigen Brennstoffe, die hier betrachtet werden sollen, können wir daher folgende Einteilung aufstellen.

Erzeugnisse der gewöhnlichen Steinkohlen-Verkokung oder der Kohlendestillation bei höherer Temperatur:

1. Rohteer, d. h. Gesamtheit der durch Kühlung verflüssigten, nicht wässerigen Bestandteile des Kohlendestillationsgases,
2. Teeröle und sonstige Teerbestandteile, d. h. Erzeugnisse einer Aufbereitung, in der Regel einer Destillation des Rohteers,
3. Benzolkohlenwasserstoffe, d. h. hauptsächlich aus den nicht kondensierbaren Restgasen der Kohlendestillation gewonnene, leicht siedende Kohlenwasserstoffe.

Erzeugnisse der Kohlendestillation bei niedriger Temperatur:

4. Urteer, Urteeröle und Urbenzin, d. h. Bestandteile, die hinsichtlich ihrer Gewinnungsweise im wesentlichen den vorstehend erwähnten Stoffen entsprechen, aber chemisch von ihnen stark verschieden sind.

Chemische Umwandlungserzeugnisse von Kokereierzeugnissen:

5. Hydrierte feste oder flüssige Teerkohlenwasserstoffe,
6. Alkohole aus Äthylen und verwandten Kohlenwasserstoffen des Kokereigases.

[1]) Fischer, Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle. Gebr. Bornträger, Berlin 1917 u. f.

Rohteer.

Der Steinkohlenteer ist zwar ein eigentliches Roherzeugnis, d. h. der Ausgang für andere Stoffe, insbesondere Teeröle, findet aber trotzdem auch unmittelbar Verwendung als flüssiger Brennstoff, z. B. schon seit längerer Zeit gelegentlich zum Beheizen der Leuchtgasretorten, wo sein Absatz schwierig ist oder wegen der geringen Mengen sich nicht lohnt, dann aber auch als Treibmittel für Dieselmotoren, ein Verfahren, das etwa vom Jahre 1911 ab praktischen Wert gewonnen [2]) und zu beachtenswerten Erfolgen geführt hat.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Steinkohlen-Nebenerzeugnisse, insbesondere Teer und Benzol, geht aus der nachfolgenden Übersicht [3]) hervor.

Gewinnung an Steinkohlen-Nebenerzeugnissen im Deutschen Reich 1913 bis 1920.

Jahr	Teer t	Benzol t	Ammoniak t
1913	1 152 772	194 425	456 411
1914	984 057	192 707	393 390
1915	939 494	193 127	379 538
1916	1 132 811	262 168	479 207
1917	1 116 560	248 336	498 050
1918	1 102 659	247 160	492 142
1919	734 484	146 440	274 167
1920	830 845	181 274	335 392

Der Teergehalt von Steinkohlen-Destillationsgasen schwankt etwa zwischen 2 und 5 vH der eingesetzten Kohle, je nach deren Charakter. Über die Gewinnung des Steinkohlenteers aus Kohlendestillationsgasen ist bereits oben in der Einleitung gesagt worden, daß das älteste und nächstliegende Mittel dazu, nämlich die Kühlung der Rohgase, durchweg bis in die neueste Zeit bei allen Anlagen und Systemen immer wieder Verwendung gefunden hat, mindestens zum Teil neben anderen Mitteln. Zur näheren Erläuterung möge der Arbeitsgang einer Kokerei-Nebengewinnungsanlage unter Bezugnahme auf Abb. 1, die ein photographisches Schaubild einer Koksofen- und Nebengewinnungsanlage mit dem bei älteren Anlagen allgemein üblich gewesenen und auch heute noch bei einem großen Teil der bestehenden Anlagen in Gebrauch befindlichen Kondensationssystem darstellt, im folgenden geschildert werden:

Die Verkokung findet in dem im Vordergrund des Bildes sichtbaren Koksöfen statt, die liegende, langgestreckte, schmale und hohe Kammern zur Aufnahme der Kokskohle mit dazwischen angeordneten senkrechten Heizwänden haben. Aus jedem Koksofen führt an der Decke ein senkrechtes Steigrohr, das oben mit einem Absperrventil versehen ist, die frischen Destillationsgase in eine längs über der ganzen Ofenbatterie angeordnete Gasvorlage, von der aus eine anschließende Gashauptleitung die Gase der Kondensations- und Nebengewinnungsanlage zuführt. Die Gasvorlage ist in Abb. 1 nicht gut zu erkennen, da sie gerade von den oberen Teilen der Steigrohre verdeckt wird, wohl aber die Gashauptleitung, die im Mittelgrunde des Bildes von der Vorlage quer zu der ersten, mehr vorn stehenden und niedrigeren Gruppe von zylindrischen Türmen hinüberführt. Diese Türme umfassen je eine Reihe von Luftkühlern und Wasserröhren-Kühlern zum vollständigen Abkühlen der Rohgase bis ungefähr auf Atmosphärentemperatur. An diese Gruppe von Kühlern schließt sich weiter nach hinten im Bild eine Gruppe von höher gebauten zylindrischen Türmen an, die zum Auswaschen des Ammoniaks aus dem gekühlten Gas mit Wasser und weiter des Benzols mittels Teeröle nach der weiter unten zu beschreibenden Methode dienen.

Das rohe Destillationsgas hat in der Koksofenkammer etwa 1000 ° C, beim Übertritt vom Steigrohr in die Vorlage etwa 400 °, beim Übertritt von der Gashauptleitung in den ersten Kühler der Kondensationsanlage etwa 130 °, am Ende der Kühlerreihe, also beim Austritt aus dem letzten Kühler etwa 20 bis 25 ° C. Es ergibt sich hieraus, daß das rohe Gas schon auf dem Wege von der Ofenkammer bis zu der Kondensationsanlage, d. h. in den Steigrohren, in der Ofenvorlage und in der Gashauptleitung, also in denjenigen Teilen der Anlage, die grundsätzlich bei jedem Nebengewinnungssystem wiederkehren, den größten Teil seiner ursprünglichen Wärme durch die Luftkühlung verliert, d. h. sich ohne besonderes Zutun beträchtlich abkühlt. Infolgedessen werden schon in der Vorlage und in der Hauptleitung vor den eigentlichen Kühlern beträchtliche Mengen von Teer, hauptsächlich Dickteer, kondensiert. Der Rest des Teers wird in de[n]

[2]) Journal für Gasbeleuchtung Bd. 54 (1911) S. 1025.
[3]) Dr. E. Jüngst, „Kohlengewinnung, -verbrauch- und -außenhandel Deutschlands im Jahre 1922", „Glückauf" Bd. 59 (1923) S. 1079

Luft- und Wasserkühlern ausgeschieden. Gleichzeitig mit dem Teer scheidet sich fast das gesamte in den Rohgasen dampfförmig enthaltene Wasser, das hauptsächlich aus dem Anfeuchtungswasser der Kokskohle stammt, als ammoniakhaltiges Kondensat ab.

Alle Kondensate, also Teer und Ammoniakwasser, fliessen in einem Tiefbehälter zusammen, wo sie sich bei ruhigem Stehenbleiben in eine untere Schicht von Teer und in eine oben schwimmende Schicht von Ammoniakwasser scheiden. Das Ammoniakwasser wird später zusammen mit Frischwasser in den auf die Gaskühler folgenden Ammoniakwäschern verwendet und schließlich der Ammoniakfabrik zugeführt. Der Teer wird gewöhnlich zum Zweck der späteren Verladung in einen Hochbehälter gefördert und nach Bedarf in Kesselwagen abgelassen. In diesem Zustand kommt er als Rohteer in den Handel.

Die beschriebene Gewinnungsweise von Teer und Ammoniak ist in Leuchtgasanstalten bis heute, in Kokereien bis etwa 1903 die allgemein übliche gewesen [1]). In Kokereien ist von 1903 an die Art der Gewinnung des Teers, d. h. soweit er sich nicht schon in der Ofenvorlage und den Gashauptleitungen abscheidet, durch die Entwicklung der sogenannten direkten Ammoniakgewinnungs-Verfahren entscheidend beeinflußt worden.

Unter direkter Ammoniakgewinnung versteht man in der Kokereitechnik das Verfahren, das von den Rohgasen mitgeführte Ammoniak durch Behandlung der Gase mit Säuren unmittelbar, d. h. ohne Sonderwaschung, Laugeneindampfung oder dergl., in festes, marktfähiges Ammoniumsalz zu überführen. Im allgemeinen dient als Säure hierfür handelsübliche Schwefelsäure, und das Erzeugnis ist dann kristallinisches Ammoniumsulfat.

Der erste, der dieses Verfahren in die Kokereien praktisch einführte, war R. Brunck in Dortmund. Seine Erfahrungen mit dieser Neuerung ergaben sofort, daß das Problem der direkten Ammoniakgewinnung im wesentlichen ein solches der vorherigen vollständigen Abscheidung und Beseitigung des Teers aus dem Gase war. Es haben daher alle weiteren Erfinder auf diesem Gebiet an diesem charakteristischen Punkte des Problems eingesetzt, um zu praktisch brauchbaren Lösungen zu gelangen. Die verschiedenen Systeme, die im Laufe der Zeit in größerem Umfang in die Praxis gelangt sind, sind die von Dr. Otto & Comp., Brunck, Still und Koppers.

Man pflegt nach der Art der Teerscheidung gewöhnlich zwei Hauptarten der Verfahren zu unterscheiden, nämlich „halbdirekte“ und „direkte“ Ammoniakgewinnung. Das halbdirekte oder „kalte“ Verfahren, dessen hauptsächlichster Vertreter das von Koppers ist, lehnt sich ziemlich weit an die alte indirekte Kondensation und Ammoniakgewinnung der Leuchtgasanstalten an und kennzeichnet sich dadurch, daß der Teer genau wie dort durch Abkühlung der Gase bis auf die Lufttemperatur abgeschieden wird. Dabei muß man jedoch in den Kauf nehmen, daß sich erhebliche Mengen von ammoniakhaltigem Wasser kondensieren, und daß man diese Ammoniakmenge, im allgemeinen rd. die Hälfte des ursprünglich in den Rohgasen enthaltenen Ammoniaks, durch eine besondre Destillation wieder in Gasform zurückführen muß, um sie der direkten Ammoniaksättigung zugänglich zu machen; diese Eigenart kommt durch die Bezeichnung „halbdirekt“ zum Ausdruck.

Im Gegensatz hierzu erstreben die direkten oder „heißen“ Verfahren die vollständige Abscheidung des Teers aus den Rohgasen ohne Kühlung auf Lufttemperatur, nämlich in Temperaturbereichen oberhalb des Taupunktes, der für Kokereigas bei etwa 80° C liegt. Man erreicht dadurch, daß fast kein oder nur sehr wenig ammoniakhaltiges Kondensat abgeschieden und das teerfreie Gas mit praktisch vollem Ammoniakgehalt dem Säuresättiger zugeführt wird. In diese Gruppe gehören hauptsächlich die Verfahren von Brunck und Dr. Otto & Comp.; diese unterscheiden sich durch die besonderen Mittel, die für die Teerabscheidung aus den heißen Gasen benutzt werden.

Das Verfahren von Still steht in gewisser Hinsicht in der Mitte zwischen den beiden Verfahren. Ähnlich wie beim halbdirekten Verfahren dient zur Beseitigung des Teers vollständige Abkühlung der Gase, wozu aber hier direkt auf die Gase wirkendes Kühlwasser benutzt wird; durch eine neuartige Weiterbehandlung der Gase wird dafür gesorgt, daß sich die Hauptmenge des bei der Kühlung ausgefallenen Ammoniakkondensats wieder den Gasen in Dampfform beimengt, so daß im Endergebnis auf der einen Seite die vollständige Teerscheidung durch Kühlung, auf der andern die den Verfahren eigentümliche Vermeidung von gesondert aufzuarbeitendem Ammoniakwasser, wenigstens bis auf einen unerheblichen Rest, erreicht werden. Die Hauptmenge des ursprünglich im Rohgas enthaltenen Ammoniaks gelangt daher unmittelbar mit den Gasen zum Ammoniaksättiger.

[1]) Z. Bd. 36 (1892) S. 1398; „Glückauf“ Bd. 38 (1902) S. 676.

Auf die Einzelheiten dieser direkten Ammoniakgewinnungsverfahren kann hier nicht eingegangen werden; die Leser, die sich dafür besonders interessieren, seien auf die zahlreichen in den Fachzeitschriften, namentlich in „Glückauf“ und „Stahl und Eisen“, gebrachten Aufsätze verwiesen, wovon zur übersichtlichen Unterrichtung besonders die in der Fußnote genannten empfohlen werden [2]).

Die Kokereitechnik hat seit der Einführung des direkten Ammoniakgewinnungsverfahrens neue und eigenartige Wege zur Gewinnung des Teers aus den Kohlendestillationsgasen eingeschlagen, die sich zum Teil sehr wesentlich von der reinen Kondensation unterscheiden. Die Bedeutung dieser Neuerungen und der Umfang ihrer Anwendung in der Praxis rechtfertigen es, sie im Rahmen dieses Aufsatzes etwas eingehender zu behandeln.

Teeröle und Teerbestandteile.

Im allgemeinen verwendet man Rohteer nicht unmittelbar als Brennstoff oder für andre Zwecke, da die Aufarbeitung des Rohteers und die Gewinnung seiner wichtigsten Bestandteile oder Bestandteilgruppen vorteilhafter ist.

Die gewöhnliche Art der Aufarbeitung des Teers ist die Destillation, der man das ganze in einer Nebengewinnungsanlage anfallende teerige Kondensat unterwirft. Man hat zwar bereits versucht, den von Destillationsrohgasen herangetragenen Teer schon während der Kühlung der Rohgase in der Nebengewinnungsanlage in Fraktionen zu zerlegen; am bekanntesten sind in dieser Beziehung die Erfindungen von Walter Feld [3]). Auch für die Destillation des Teers hat man zahllose Verbesserungen vorgeschlagen, um die übliche unterbrochene Destillation in großen Destillierblasen zu vermeiden und den ununterbrochen zugeführten Teer in eine Reihe von Einzelbestandteile zu zerlegen, die ununterbrochen nebeneinander gewonnen werden sollen.

Alle derartigen Neuerungen sind, wenn überhaupt, nur vereinzelt in die Praxis eingedrungen, weil sie sich fast immer als zu umständlich erwiesen haben. Die überwiegende Masse des Rohteers wird noch heute in Destillierblasen verarbeitet. Auch diese Destillationsanlagen haben sich aber weitgehend technisch entwickelt und stehen heute in Leistungsfähigkeit sowie Bequemlichkeit und Wirtschaftlichkeit des Betriebes auf einer hohen Stufe.

Die Destillation des Rohteers in Blasen wird gewöhnlich so geführt, daß der Reihe nach folgende Fraktionen gewonnen werden:

Leichtöl zusammen mit Ammoniakwasser		bis 180° C,
Mittelöl	von 180	„ 230° C,
Schweröl	„ 230	„ 270° C,
Anthrazenöl	„ 270	„ 350° C,
Pech als Rückstand, oberhalb		350° C.

Schon die Bezeichnungen lassen erkennen, daß die Fraktionen nicht scharf bestimmt, sondern Gruppen von Einzelkörpern sind, die hinsichtlich ihrer Beschaffenheit und besonders ihrer Siedepunkte ineinander übergehen. Demgemäß sind auch die angegebenen Grenztemperaturen nicht genau, sondern nur annähernd zu werten. Auch die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung und Verwendung der einzelnen Fraktionen sind nicht überall scharf getrennt. Eine gute Übersicht hierüber hat Weißgerber mitgeteilt [4]), s. S. 596.

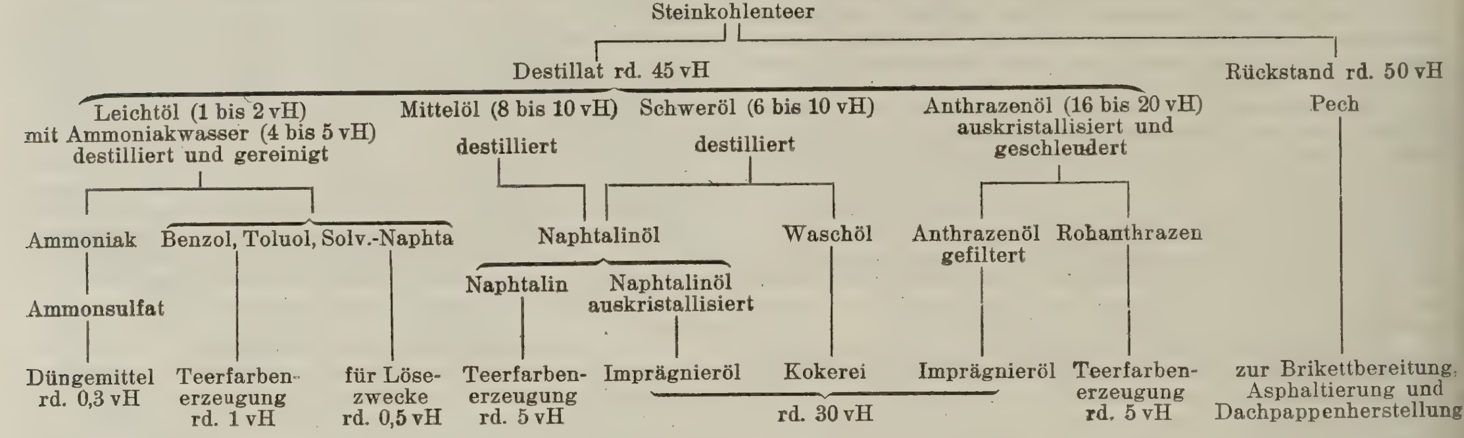
Die erste leichtest siedende Fraktion umfaßt das Wasser, das stets ammoniakhaltig ist, und die leichten Teeröle, hauptsächlich Benzol, Toluol, Xylol, Lösungsnaphtha sowie verschiedene verwandte Kohlenwasserstoffe und Verunreinigungen. Diese Leichtöle stimmen im wesentlichen mit dem Ergebnis der Benzolgewinnung aus Destillationsgasen überein und werden daher auch wie dieses weiterverarbeitet.

Die zweite Fraktion, das Mittelöl, enthält vorwiegend Phenol (Karbolsäure) und Kresole, also saure Bestandteile, die durch Behandlung mit Alkalien daraus gewonnen werden. Die höhersiedenden Anteile des Mittelöles und das Schweröl enthalten gelöstes Naphtalin, den bei gewöhnlicher Temperatur festen Kohlenwasserstoff. Man gewinnt es durch Auskristallisieren in großen Kühlpfannen, worin man das Öl durch die Außenluft allmählich abkühlt.

Im Anthrazenöl ist das bei gewöhnlicher Temperatur ebenfalls feste Anthrazen gelöst, das wie Naphthalin durch Abkühlen und Auskristallisieren gewonnen wird. Nach dem Übertreiben des Anthrazenöls verbleibt als Rückstand das Pech, meist mehr als die Hälfte (55 bis 65 vH) des eingesetzten Rohteers. Je weiter man die Destillation treibt, um so härteres Pech fällt aus und um so höher liegt seine Erweichungstemperatur, d. h. um so

[2]) „Glückauf“ Bd. 49 (1913) S. 448, 481, 1102; „Stahl u. Eisen“ Bd. 33 (1913) S. 777, 817.
[3]) D R P 219310, 219771, 220067; österr. Pat. 78394.
[4]) Z. Bd. 56 (1912) S. 1670.

Übersicht von Weißgerber über Weiterverarbeitung und Verwertung der Fraktionen.



weniger leicht wird es durch unvermeidliche geringe Temperatursteigerungen beim Lagern und Befördern teigig und klebrig. An der Schwierigkeit, genügend hartes Pech zu erzeugen, das wegen seiner Beständigkeit höher geschätzt wird, kranken noch die meisten ununterbrochenen Teerdestillationsverfahren, und schon aus diesem Grunde können sie sich praktisch nicht einbürgern.

Die erste Destillation, also das Abtreiben des Leichtöls und des Wassers aus dem Rohteer, führt man in der Praxis fast ausnahmslos als Vorstufe in besonderen Einrichtungen aus, weil der Wassergehalt des Teers in der eigentlichen Teerdestillierblase störendes, mitunter sogar gefährliches Aufschäumen des Blaseninhaltes hervorruft. Zugleich bietet eine solche Teerentwässerung vorteilhafte Möglichkeiten, die Wärmewirtschaft des ganzen Destillationsprozesses zu verbessern. Die neuzeitliche Teerdestillation kennzeichnet sich daher in erster Linie durch den Ausbau nach dieser Richtung.

In Abb. 2 ist 1 die liegend ausgebildete, von der linken Stirnseite aus befeuerte Teerdestillierblase, die heute für große Leistungen am gebräuchlisten ist; 2 und 3 ist die Teerentwässerungseinrichtung, 4 und 5 der zugehörige Destillatkühler, 6 der sogenannte Schlußkühler der Teerblase. 7 und 8 sind zwei Teerförderpumpen, 9 ist ein Behälter zum Aufspeichern des entwässerten Teers. Die Behälter 10 bis 14 dienen zum Aufspeichern der anfallenden Destillate, nämlich der Reihe nach für Ammoniakwasser, Leichtöl, Mittelöl, Schweröl und Anthrazenöl. Der Behälter 15 ist die Pechvorlage, die den aus der Blase abgelassenen Rückstand noch heiß aufzunehmen hat, und 16 sind in der freien Luft stehende offene Kühlpfannen, in die man das Pech zum Erstarren überführt.

Der frische Rohteer wird aus einem tiefstehenden Lagerbehälter mittels Pumpe 7 und Rohrleitung 17 durch den Kühler 4 gefördert, wo er als Kühlmittel für die aus dem Teerentwässerer 2, 3 entweichenden Leichtöl- und Wasserdämpfe dient, wird dabei etwas vorgewärmt und so durch die Leitung 18 oben in den Teerentwässerer aufgegeben. Dieser besteht im oberen Teil 3 aus einer Kolonne mit Rieseleinbauten und im unteren Teil 2 aus einem Schlangenrohrerhitzer. Als Heizmittel für diesen Erhitzer dienen die durch den Helm 19 der Blase 1 und die Rohrleitung 20 abgeführten Teerdämpfe, die nach ihrem Durchgang durch den Erhitzer in dem Schlußkühler 6 zu flüssigem und kaltem Destillat verdichtet werden.

Diese Teerdestillate werden dann durch die Leitungen 21 und 22 nach Bedarf in die Lagerbehälter 12 bis 14 abgelassen. In der Kolonne 3 wird der Rohteer durch die im Fußteil 2 entstehenden Dämpfe vollständig von Wasser und Leichtöl befreit und dann durch die Leitung 23 in den Behälter 9 abgelassen. Er enthält dann nur noch Mittelöl und die noch höher siedenden Anteile und ist durch die Behandlung im Teerentwässerer auf etwas mehr als 100° C erwärmt.

Die abgetriebenen Dämpfe entweichen durch die Leitung 24 in das Oberteil 4 des Kühlers und werden hier, wie schon erwähnt, durch den zugeführten Rohteer abgekühlt sowie im Unterteil 5 durch Kühlwasser vollständig verflüssigt. Das Destillat scheidet sich im Unterteil in das spezifisch schwerere Ammoniakwasser, das durch die Leitung 25 in den Behälter 10 abgezogen wird, und in das spezifisch leichtere Leichtöl, das über die Leitung 26 in den Behälter 11 gelangt.

Der Speicher 9 ermöglicht, den Teerentwässerer ohne Unterbrechung zu betreiben; während die Destillierblase arbeitet, fließt der Rohteer ständig über den Teerentwässerer, so daß sich im Behälter 9 soviel entwässerter Teer ansammelt, als zur nächstfolgenden Füllung einer Blase nötig ist. Die Destillierblase wird, nachdem sie von den Rückständen der vorhergehenden Destillation befreit und genügend abgekühlt ist, mittels der Pumpe 8 gefüllt, die den entwässerten und vorgewärmten Rohteer aus dem Speicher 9 am Boden entnimmt und durch die Leitung 27 in die Blase drückt. Hier wird der Teer durch Feuerbeheizung allmählich abdestilliert, wobei die Dämpfe in den Apparaten 2 und 6 verdichtet werden und der Reihe nach Mittelöl, Schweröl und Anthrazenöl in die Behälter 12 bis 14 abgeben. Der Rückstand in der Blase, das Pech, wird nach Beendigung der Destillation heiß durch die Leitung 28 in die geschlossene Pechvorlage 15 abgelassen, weil es sich sonst bei Berührung mit Luft leicht entzünden würde, und hier zunächst durch Außenluft bis zu einem Zustand abgekühlt, wo es noch schmelzflüssig ist. Es wird dann mittels Druckluft über die Steigleitung 29 in die Verteilrinnen 30 in der Pechkühlhalle befördert und auf die Pechkühlpfannen 16 verteilt, wo es erstarrt und erhärtet, was in der Regel mehrere Tage erfordert. Das Pech wird dann mit der Hand zerkleinert und über Schurren 31 in Wagen 32 verladen.

Die Destillationsblasen werden wegen der erforderlichen hohen Temperaturen, die gegen Ende des Vorganges rd. 400° C betragen, stets durch offenes Feuer beheizt. Als Brennstoffe kommen dabei Kohlen oder gasförmige und flüssige Brennstoffe in Betracht, insbesondere auch gelegentlich Erzeugnisse der Teerdestillation, z. B. Rohnaphtalin, das dann durch Heizdampf geschmolzen wird und sich so in einer Ölfeuerung verwenden läßt. Aus dem Betriebsgang der Anlage erkennt man, daß sich durch die Teerentwässerer zweimal, nämlich im Kühler 4 und im Erhitzer 2, Gelegenheit zur Wiedergewinnung von Destillationswärme bietet, die dem Rohteer zugute kommt, wenn er in Be-

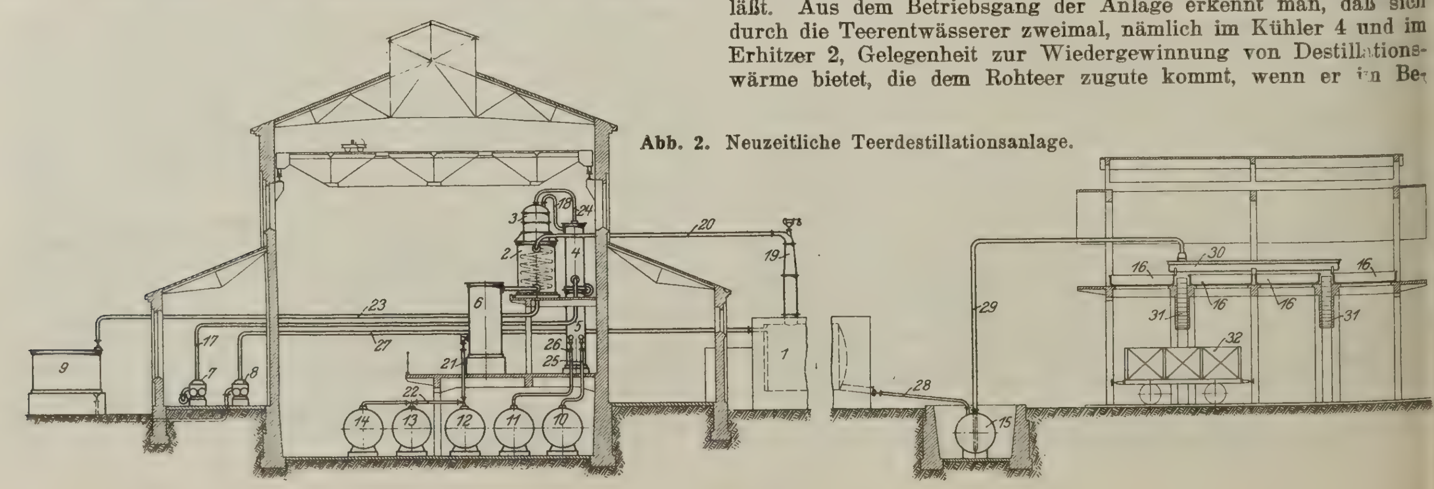


Abb. 2. Neuzeitliche Teerdestillationsanlage.

hälter 9 aufgespeichert wird. Die Anlage arbeitet infolgedessen mit geringem Aufwand an Feuerung und Kühlwasser.

Zur vollständigen Teerdestillationsanlage gehören noch die Kühlpfannen zum Auskristallisieren des Naphtalins und Anthrazens, die Schleuder- und Filtervorrichtungen zum Trennen des Naphtalins und Anthrazens von den betreffenden Ölen, und gegebenenfalls auch Pressen zum Formen der Naphtalinkuchen. Die weitere Verarbeitung der Teererzeugnisse, insbesondere die Reinigung des Rohnaphtalins und des Rohanthrazens, werden in der Regel in den chemischen Fabriken vorgenommen.

Benzolkohlenwasserstoffe.

Die Benzolkohlenwasserstoffe sind Leichtöle vom spezifischen Gewicht unter 1 im Gegensatz zu den Mittel- und Schwerölen des Teers. Sie leiten sich ihrer chemischen Konstitution nach von dem Benzol (C_6H_6) als Grundkörper ab und bilden, mit dem Benzol anfangend, die bekannte Reihe der sogenannten zyklischen oder aromatischen Kohlenwasserstoffe, deren wichtigste Vertreter Benzol, Toluol, Xylol und Lösungsbenzol sind. Das Benzol wurde 1825 von Faraday als Bestandteil von Ölgas entdeckt. Den Namen hat es 1834 von Liebig erhalten. Im Steinkohlenteer hat es 1845 A. W. Hofmann nachgewiesen.

Die Benzolkohlenwasserstoffe sind in den Kohlendestillationsgasen, genau wie Wasserdampf in Luft, als Dämpfe enthalten, ihre Menge ist aber weit entfernt vom Sättigungszustand der Gase bei atmosphärischen Drücken und Temperaturen. Um die Benzole aus solchen Gasen zu gewinnen, kann man nur physikalische Verfahren und Hilfsmittel verwenden. Von diesen hat man bisher nur das unmittelbare Kondensieren durch Abkühlung, allenfalls zugleich mit Verdichtung der Gase, das Absorbieren in Flüssigkeiten und das Adsorbieren durch feste Stoffe von großer Porosität (Holzkohle u. a.) verwertet.

Das Kondensieren ist im Großen bisher nur in einem einzigen Falle, nämlich 1894 auf der Donnersmarckhütte nach dem Verfahren von Chr. Heinzerling eingerichtet worden[1]), hat sich aber wegen seiner Schwierigkeiten und zu großer Kosten der Kühlung nicht halten können. Dagegen wird es für die Benzolbestimmung in Gasen im Laboratorium gelegentlich auch heute noch angewendet.

Das Adsorbieren mittels Holzkohle hat man ferner in jüngster Zeit verschiedentlich aufgegriffen, um es für den Großbetrieb praktisch brauchbar zu machen. Die Verfahren sind aber technisch noch nicht soweit erprobt, daß man übersehen kann, ob die bisher von fachmännischer Seite erhobenen, beachtenswerten Zweifel unbegründet sind[2]).

Die Benzolgewinnung aus Gasen, insbesondre Kokereigasen durch Absorption in Flüssigkeiten, in der Regel schwersiedenden Ölen, herrscht daher in der Benzolindustrie auch heute noch vor. Die Erfindung rührt von H. Caro, A. Clemm, Ch. Clemm und Fr. Engelhorn in Mannheim her, die hierauf 1869 das englische Patent Nr. 488 und das amerikanische Patent Nr. 92176 erhielten. Danach wird das Gas in einem Skrubber mit höhersiedendem Öl, wie Petroleum, Schieferöl, Mineralöl oder schwerem Teeröl, gewaschen und das Öl von den Benzol-Kohlenwasserstoffen durch Destillieren wieder befreit.

Von praktischer Verwertung dieses Verfahrens durch die Erfinder ist aber nichts bekannt geworden. Die erste praktische Anwendung im Kokereibetriebe soll zu Terre-Noire auf einer Carvèsschen Kokereianlage Anfang der 80er Jahre erfolgt sein[3]).

Der Beginn der wirklichen Industrie der Benzolgewinnung liegt jedoch in Deutschland, und zwar im Jahr 1887. Um diese Zeit hat F. Brunck, Dortmund, die Benzolgewinnung auf verschiedenen Steinkohlenzechen des Ruhrreviers eingeführt. Sie wurde damals mit viel Geheimnis umgeben, so daß mehr als ein Jahrzehnt verging, bis sich auch andre diesem neuen Zweig zuwandten. Besonders erfolgreich war Carl Still, Recklinghausen. Durch Neuerungen in den früheren Einrichtungen führte er von 1898 ab Benzolanlagen in die Praxis ein, die sich schnell und gut bewährt haben.

Die in neuerer Zeit auf den Steinkohlenkokereien allgemein üblichen Benzolfabriken umfassen nicht nur die eigentliche Benzolgewinnung, d. h. die Herstellung von Rohbenzol, womit sich die älteren Betriebe begnügten, sondern auch die Benzolreinigung, d. h. die Gewinnung fertiger, marktfähiger Reinware. Diese Erweiterung der Fabrikation hat nicht zuletzt den Aufschwung und die heutige Bedeutung dieser Sonderindustrie innerhalb der Nebenerzeugnisgewinnung begründet.

Die Benzolgewinnung nach der Bauart von Still ist in Abb. 3 und 4 dargestellt. Das von Teer und Ammoniak befreite benzolhaltige Gas tritt durch die Gasleitungen g der Reihe nach in die drei Wäscher W_3, W_2, W_1 unten ein und strömt hierin dem von oben herabrieselnden, durch Horden oder dergl. fein verteilten Waschöl entgegen. Das Waschöl durchfließt dabei die drei Wäscher ebenfalls nacheinander, derart, daß das ganz frische Öl im Wäscher W_1 mit dem fast benzolfreien, das mit Benzol angereicherte Öl zuletzt im Wäscher W_3 mit frisch ankommendem, stark benzolhaltigem Gas zusammentrifft. Zu den Tropfvorrichtungen f auf den Wäschern wird das Öl mittels der Pumpen P_1, P_2, P_3 aus den Sammelbehältern B_1, B_2, B_3 über die Saugleitungen s_1, s_2, s_3 und die Druckleitungen l_1, l_2, l_3 gehoben und hinter den Wäschern durch die Leitungen m_1, m_2, m_3 den Sammelbehältern B_2, B_3, B_4 zugeführt, worauf es in dem letzteren Behälter B_4 als gesättigtes Waschöl für die weitere Behandlung zur Verfügung steht.

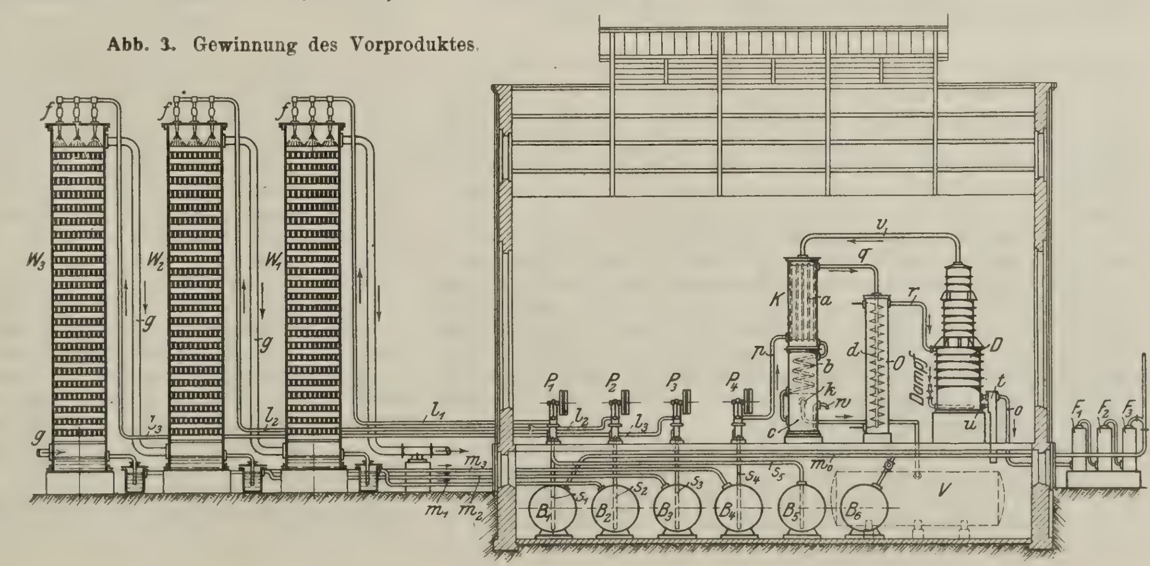
Aus dem gesättigten Waschöl werden die Benzolkohlenwasserstoffe in der Form von sogenanntem Benzolerzeugnis abgeschieden. Die Einrichtung hierzu umfaßt den Ölerhitzer O, die Destillierkolonne D und den Kühler K für die übergegangenen Dämpfe, sowie die Kühler F_1, F_2, F_3 für das von Benzol befreite Waschöl.

Das benzolhaltige Waschöl wird mittels der Pumpe P_4 aus dem Behälter B_4 durch die Leitungen s_4 und p in den als Röhrenkühler ausgebildeten oberen Teil a des Kühlers K gefördert, wo es die von der Destillierkolonne D kommenden Dämpfe kühlt und sich dadurch auf etwa 80 °C erwärmt. Von hier gelangt das Öl durch die Leitung q in den Ölerhitzer O, worin es mittels einer Dampfschlange d auf die zum Destillieren erforderliche Temperatur erhitzt wird, und von da durch die Rohrleitung r in die Destillierkolonne D, wo seine Kohlenwasserstoffe abgeschieden werden. Durch das Waschöl wird zu diesem Zweck, während es von der Eintrittstelle der Leitung r aus nach abwärts durch die einzelnen Kolonnenböden fließt, ein schwacher Dampfstrom getrieben, welcher die vom Öl absorbierten Kohlenwasserstoffe abtreibt und wegführt.

Dieses Gemisch von Wasserdampf und Benzolkohlenwasserstoffen gelangt aus dem obersten Teil der Destillierkolonne D durch die Leitung v in den Kühler K, in dessen oberem Teil a es das Waschöl anwärmt, und wird darauf durch die von Kühlwasser umspülte Schlange b geleitet. In dem als Sammelbehälter ausgebildeten Fuß c des Kühlers trennen sich schließlich die Kondensate in Benzolvorerzeugnis und Wasser. Das schwerere Wasser verläßt den Kühler durch das Rohr w, das Vorerzeugnis dagegen fließt bei k ab und wird in dem Behälter V gesammelt.

Das in der Destillierkolonne D behandelte Waschöl fließt bei u durch den Tauchtopf t in die Leitung o ab und wird von

Abb. 3. Gewinnung des Vorproduktes.



[1]) Journal für Gasbeleuchtung Bd. 40 (1897) S. 933.

[2]) „Gas- und Wasserfach" Bd 64 (1921) S. 205, Bd. 65 (1922) S. 473, Bd. 66 (1923) S. 457, Bd. 67 (1924) S. 6; „Brennstoffchemie" Bd. 3 (1922) S. 241.

[3]) „Stahl und Eisen" Bd. 5 (1885) S. 309

hier aus durch mehrere Flachkühler F_1, F_2, F_3 sowie durch die Leitung m_0 dem Behälter B_1 zugeführt, wo sein Kreislauf wieder beginnt.

Im Laufe der Zeit verliert das Waschöl durch Verdickung, die zum Teil aus Verunreinigungen des Gases stammt, langsam an Absorptionskraft; es muß dann zum Teil durch frisches Öl ersetzt werden. Das verbrauchte Öl wird aus der Leitung m_0 in den Behälter B_6 abgelassen, während das frische Öl durch die Pumpe P_1 und die Saugleitung s_5 dem Vorratbehälter B_5 entnommen wird. Haben sich genügende Mengen von unbrauchbar gewordenem Waschöl angesammelt, so werden sie in besonderen Regenerierungs-Anlagen, worin man gewöhnlich auch frisches Waschöl herstellt, durch Umdestillieren gereinigt, oder meist dem geronnenen Rohteer zugesetzt.

Das Benzolvorerzeugnis ist ein Leichtöl, das außer Benzolkohlenwasserstoffen noch 30 bis 40 vH Waschöl enthält und deshalb rektifiziert wird. Aus dem Vorproduktbehälter V, Abb. 4, entnimmt die Pumpe P über die Saugleitung s eine genügende Menge Flüssigkeit und fördert sie über die Druckleitung e in die Rektifizierblase R. Hier sind Heizschlangen und ein Brauserohr zur unmittelbaren Einführung von Dampf an die Dampfleitung x angeschlossen. Das Kondensat des Heizdampfes wird durch den Stutzen y in einen Kondenstopf abgeleitet. Auf dem rückseitigen Boden ist die Blase mit einem Höhenstandglas versehen.

Zu Beginn der Destillation arbeitet man nur mit mittelbarer Dampfheizung und erst im weiteren Verlauf der Arbeit wird etwas Dampf durch das Brauserohr zugegeben. Die abdestillierten Dämpfe durchziehen den Kolonnenaufsatz C und den Dephlegmator E. Der Dephlegmator ist ein Röhrenkühler, der aus dem übergehenden Dampfgemisch die schwerer siedenden Bestandteile zurückhält und durch den Kolonnenaufsatz zurückführt, wo dann der entgegenkommende frische Dampfstrom die etwa noch mitgerissenen leichteren Bestandteile wieder aufnimmt, während er seine schwereren abgibt. Aus dem Dephlegmator ziehen die Dämpfe durch die Leitung Z zum Kühler H; das

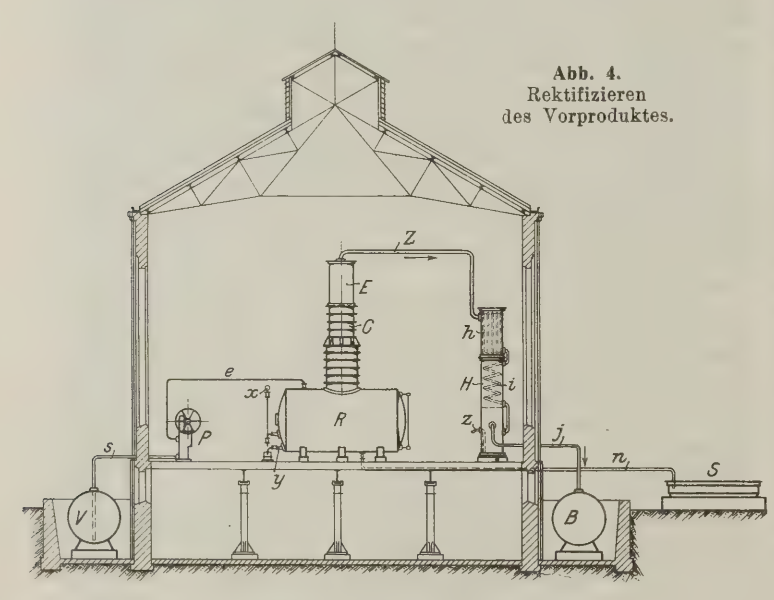


Abb. 4. Rektifizieren des Vorproduktes.

Kühlwasser wird unten zugeführt, umspült erst die Schlange i und fließt dann durch das Röhrenbündel h. Im Fuß des Kühlers scheiden sich die Kondensate in Wasser und Benzolrohprodukt; das Wasser läuft durch das Rohr z ab, die Rohprodukte werden durch die Leitung j in den Sammelbehälter B übergeführt, der mehrere getrennte Kammern für die einzelnen Fraktionen hat.

Die Ergebnisse der Rektifikation sind Rohbenzol (enttoluoltes oder sogenanntes 90er Benzol), Rohtoluol, Rohxylol und rohe Solvent-Naphta. Nachdem man diese Stoffe abgetrieben hat, verbleibt in der Blase ein Rückstand, der noch heiß durch die Leitung n in die Kristallisierpfanne S abgelassen wird. Hier scheidet sich beim Erkalten das Naphtalin ab, das von dem anhängenden Öl durch Schleudern befreit wird und in dieser Form als Rohnaphtalin in den Handel kommt. Der Rest ist fast reines Waschöl und wird wieder verwendet.

Die Rohprodukte müssen nun noch mit gewissen Chemikalien gewaschen und dann wieder einer fraktionierten Destillation unterworfen werden, da sie noch gewisse Fremdkörper enthalten.

Zum Waschen der Rohprodukte dient ein Rührgefäß S, Abb. 5 und 6. In dieses wird durch die Leitung a eine größere Menge Rohbenzol gefördert, das unter ständigem Mischen erst mit konzentrierter Schwefelsäure, darauf mit Wasser und schließlich mit Natronlauge gewaschen wird. Die Schwefelsäure wird im Behälter G aufbewahrt und nach Bedarf mittels Druckluft einem Meßgefäß M zugeführt, aus dem sie dem Rührgefäß zufließt. Nach 20 bis 30 Minuten ist das Waschen mit Säure beendet; man läßt das Gemisch von Benzol und Säure absetzen und leitet die Säure durch den Abfluß f, g weg. Das Waschen mit Wasser und mit Natronlauge dient hauptsächlich dazu, die Säurereste zu neutralisieren. Die Lauge wird aus dem Behälter L mittels Druckluft durch die Leitung n in das Meßgefäß N gehoben und nach dem Waschen und Absetzen bei f in den Topf t abgelassen, wo sich noch mitgeführte Benzolmengen abscheiden. An die Laugewaschung wird häufig, obgleich nicht unbedingt erforderlich, noch eine Waschung mit reinem Wasser angeschlossen.

Aus dem Rührgefäß S kann man die gewaschenen Produkte durch die Leitung u in die Destillierblase B überführen. Zweckmäßig leitet man sie jedoch vorher durch den Abfluß e dem Zwischenbehälter Z auf der Bühne P zu, worin man während des Betriebes der Blase gewaschenes Produkt ansammeln kann.

Die Reindestillierblase B ist im wesentlichen wie die Rektifizierblase für Benzolvorerzeugnis ausgebildet. Die Dämpfe, die während der Destillation abziehen, werden im Dephlegmator D sehr scharf fraktioniert, so daß man z. B. ohne Schwierigkeit Reinbenzol und Reintoluol herstellen kann, die bis zu 95 vH innerhalb 0,5 ° Temperaturunterschied übergehen. Der Betrieb der Destillation zeigt nur insofern eine Besonderheit, als meist nur mit mittelbarer Dampfheizung und bei den höher siedenden Produkten auch bei Unterdruck gearbeitet wird. Im übrigen muß man etwas langsamer und vorsichtiger als beim Rektifizieren verfahren.

Die Dauer des Vorganges hängt nur davon ab, ob man sogenannte gereinigte oder Reinprodukte herstellen will, die sich durch den Reinheitsgrad unterscheiden. Aus dem Dephlegmator gelangen die Dämpfe durch die Leitung b in den Kühler K, der die Kondensate durch die Leitung p an den in mehrere Kammern geteilten Behälter R abgibt. Von hier führen die Leitung r, das Verteilstück V und mehrere Leitungen s zu den Sammelbehältern für die Fertigprodukte, die gewöhnlich mit den Behältern für Vorerzeugnis und Rohprodukte außerhalb des Gebäudes angeordnet werden.

Die Benzolerzeugung wurde vor dem Weltkriege fast ausschließlich in Kokereien angewandt. In Leuchtgasanstalten hatte man bis dahin an die Gewinnung des Benzols, dieses so lohnenden Nebenproduktes der Steinkohle, so gut wie gar nicht gedacht, weil das Benzol im Leuchtgas als lichtgebender Bestandteil hoch geschätzt wurde. Seit der Einbürgerung des Gasglühlichtes und dem Wegfall der Benutzung von Leuchtgas für Leuchtflammen hat allerdings dieser Zweck des Benzols keine Berechtigung mehr, aber erst die ungeahnten Bedürfnisse des Krieges erzwangen die schon lange begründete Umstellung.

Anfang 1915 veranlaßte die deutsche Regierung den Bau von Benzolfabriken für 36 der größten deutschen Gaswerke, nachdem schon 1914 das Gaswerk der Stadt Königsberg i. Pr. für Benzolgewinnung eingerichtet worden war. Von diesem Zeitpunkt an beginnt der Aufschwung der Benzolgewinnung in Leuchtgasanstalten. Die Gaswerke merkten bald, woran nach den Erfahrungen in Kokereien von vornherein nicht zu zweifeln war, daß sich die Einfügung einer Benzolanlage bei dem starken Bedarf an Benzolerzeugnissen, der sich in den letzten Jahren noch verstärkt hat, lohnte, und auch kleinere und kleinste Gaswerke gingen daher immer mehr zum Bau solcher Anlagen über. Heute dürfte es in Deutschland wohl 500 Gaswerke mit Benzolgewinnung geben. Die meisten liefern statt der gereinigten Ware, deren Erzeugung sich im kleinen Maßstabe nicht lohnen würde, Roherzeugnisse oder befassen sich, bisweilen unter Verzicht auf vollständiges Auswaschen des Benzols aus dem Gase, mit der Herstellung von Sondererzeugnissen, an deren Reinheit beschränkte Anforderungen gestellt werden, namentlich von Motorenbenzol.

Urteer, Urteeröle und Urbenzin.

Die Tieftemperaturverkokung oder Urverkokung der Steinkohle ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kohle nur auf mäßige Temperaturen von etwa 400 bis höchstens 500 °C erhitzt wird. Bei dieser Behandlung ergeben sich neben beständigem Destillationsgas von hohem Heizwert flüchtige ölige Stoffe, die, wie der Steinkohlenteer der gewöhnlichen Verkokung, zu einer Flüssigkeit, dem Urteer, verdichtet werden können, zum Teil aber, ähnlich wie das Benzol des Steinkohlengases, dampfförmig in dem Gas verbleiben; die letzteren Bestandteile pflegt man als Urbenzin zu bezeichnen.

Gegenüber der gewöhnlichen Verkokung ergibt die Urverkokung eine viel höhere Ausbeute an Teer, 8 bis 15 vH der eingesetzten Kohle, und eben darum verspricht das Verfahren eine so aussichtsreiche Quelle für flüssige Brennstoffe und andre Öle zu werden. Eine weitere Eigentümlichkeit hierbei ist die chemische Beschaffenheit der Destillationsprodukte. Urteer und Urbenzin bestehen zu einem wesentlichen Teil aus paraffinartigen Kohlenwasserstoffen, die denjenigen des Erdöles sehr nahekommen, und außerdem enthält Urteer einen besonders hohen Gehalt an sauren Bestandteilen, Phenolen und Kresolen. Der etwa 70 bis 74 vH der eingesetzten Kohle erreichende feste Rückstand der Urverkokung von Steinkohle, der sogenannte Halbkoks, hat stets geringe Festigkeit, ist leicht zerreiblich, teilweise sogar pulverig und ähnelt hierin der Grude, dem bekannten Rückstand der Braunkohlenverschwelung. Mit Rücksicht darauf muß man die Urverkokung richtiger als Verschwelung bezeichnen. In der geringen Festigkeit des Halbkoks, die z. B. seine Verwendung für Rostfeuerungen erschwert, liegt eine große Schwierigkeit für die praktische Verwertung der Tieftemperaturverkokung der Steinkohle.

Die Zusammensetzung von Urteer wird in weiten Grenzen von der Herkunft der Kohle und der Durchführung des Schwelens beeinflußt. Beim Destillieren des Urteers gehen von 60 °C an benzinähnliche Stoffe, dann zwischen 200 und 300 °C dünnflüssige Öle sowie über 300 °C dicke und phenolhaltige Öle über, die man als aussichtsreiche Quelle für Schmieröle ansieht, und den Rückstand bilden harzartige Stoffe, Paraffine und Pech. Von diesen Bestandteilen kommen als flüssige Brennstoffe, insbesondre als Motorentreiböle, in erster Linie die bis 300 ° übergehenden Fraktionen der Benzine und der nichtviskosen Öle in Betracht.

Die Bauart der Öfen für die Urverkokung der Steinkohle ist noch in der Entwicklung begriffen. Die Schwierigkeiten hierbei sind begreiflich, wenn man bedenkt, daß es bei diesem Prozeß ziemlich genau darauf ankommt, eine obere Temperaturgrenze von etwa 400 bis 500 °C einzuhalten, die man erreichen muß, aber nicht überschreiten darf. Gewisse Erfolge hat man bisher mit fortlaufend arbeitenden Drehtrommelöfen erreicht, die Thyssen & Co. und Fellner & Ziegle vereinzelt eingeführt haben. Sie sind noch keine idealen Lösungen der Aufgabe, weil der Halbkoks bei der ununterbrochenen Bewegung in der Drehtrommel weitgehend zerkleinert wird, wobei viel Staub in die Destillationsgase gerät und deren Kondensation erschwert. Andre Ofenbauarten, die darauf ausgehen, das Verkokungsgut in dünnen ruhenden oder bewegten Schichten zu erhitzen, sind noch nicht endgültig brauchbar.

Auf Anregung von Fischer hat man auch den Gasgenerator mit besonderm Schwelaufsatz zur Urverkokung verwendet. Die Technik hat hier zweifellos noch ein sehr umfassendes Konstruktionsproblem vor sich[1]).

Eine Eigentümlichkeit der Tieftemperaturverkokung ist, daß so gut wie gar kein Ammoniak gebildet wird. Der Stickstoff der Kohle bleibt in dem Rückstand der Urverkokung, dem Halbkoks, zurück. Wenngleich es chemisch und technisch möglich wäre, durch eine Sonderbehandlung des Halbkoks auch den Stickstoff als Ammoniak zu gewinnen, worauf die deutsche Volkswirtschaft nicht verzichten kann, so kann dies doch einer umfangreicheren Anwendung der Urverkokung im Wege stehen.

Auf jeden Fall wird man aber die Urverkokung der Steinkohle trotz aller ihrer Vorteile erst dann allgemein anwenden können, wenn die Verwertung des Halbkoks als Brennstoff befriedigend gelöst ist. Aussichten hierfür scheint die Verwendung des Halbkoks in Kohlenstaubfeuerungen zu bieten, wofür er sich wegen seiner leichten Mahlbarkeit und guten Entzündlichkeit eignet. Bisher liegen jedoch zu wenig umfassende praktische Erfahrungen hierüber vor. Jedenfalls scheinen die Urverkokung der Steinkohle und ihre flüssigen brennbaren Erzeugnisse dazu berufen zu sein, in naher Zukunft neben den übrigen flüssigen Brennstofferzeugnissen der Kohle eine bedeutsame Rolle in der Brennstoffwirtschaft Deutschlands zu spielen.

[1]) W. Gluud, Die Tieftemperaturverkokung der Steinkohle, 2. Aufl. Halle 1921; R. Weißgerber, Chemische Technologie des Steinkohlenteers, Leipzig 1923, Abschnitte C bis F (S. 6 bis 13); „Bergbau" Bd. 35 (1922) S. 949; „Glückauf" Bd. 59 (1923) S. 29, 53.

Chemische Umwandlungs-Erzeugnisse.

Die Technik ist in dem Bestreben, neue Quellen für flüssige Brennstoffe aus der Kohle zu erschließen, nicht bei den unmittelbar durch den Verkokungs- bzw. Entgasungsprozeß anfallenden flüssigen Brennstoffen stehen geblieben, sondern macht, teilweise schon seit längerer Zeit, beachtliche Anstrengungen, um auch solche Verkokungserzeugnisse, die nicht flüssige Brennstoffe sind, in solche zu überführen und an sich flüssige Brennstoffe zu verbessern. Da es sich hierbei im wesentlichen um chemische Verfahren handelt, die großenteils außerhalb der Kokereianlage durchgeführt werden, so fällt dieses Gebiet aus dem Rahmen dieses Berichtes heraus. Es sei aber wegen seines nahen Zusammenhanges mit der eigentlichen Verkokung wenigstens gestreift.

Einen wesentlichen Raum nehmen in dieser Technik die sogenannten Hydrierverfahren ein, die darauf hinauslaufen, Kohlenwasserstoffe oder Verbindungen von solchen durch Reduktion so zu verändern, daß man flüssige Kohlenwasserstoffe von wesentlich niedrigerem Siedepunkt erhält. Hierher gehören z. B. die Verfahren zur Überführung des Naphtalins in Hydronaphtaline, worunter die nach den Patenten der Tetralin-G. m. b. H. hergestellten Kohlenwasserstoffe, Tetralin und Dekalin, die bekanntesten sind; ferner sind hier die neueren Arbeiten von Fischer[2]) zur Überführung der Phenole in Benzol-Kohlenwasserstoffe zu erwähnen, die vielleicht einmal für die Verarbeitung der Urteere besondre technische Bedeutung erlangen können. Diese Arbeiten erstrecken sich weiter auf die Umwandlung höher siedender Benzol-Kohlenwasserstoffe in niedriger siedende, die wegen der Verknappung des Benzins schon seit Jahren für die Verbrennungsmotoren wichtig ist.

Außer den Verfahren zur Gewinnung flüssiger Brennstoffe aus festen oder flüssigen Verkokungserzeugnissen gibt es auch Verfahren zur Überführung gasförmiger Verkokungserzeugnisse in flüssige Brennstoffe. Der bekannteste und für die Verkokungsindustrie beachtenswerteste Fall dieser Art ist die

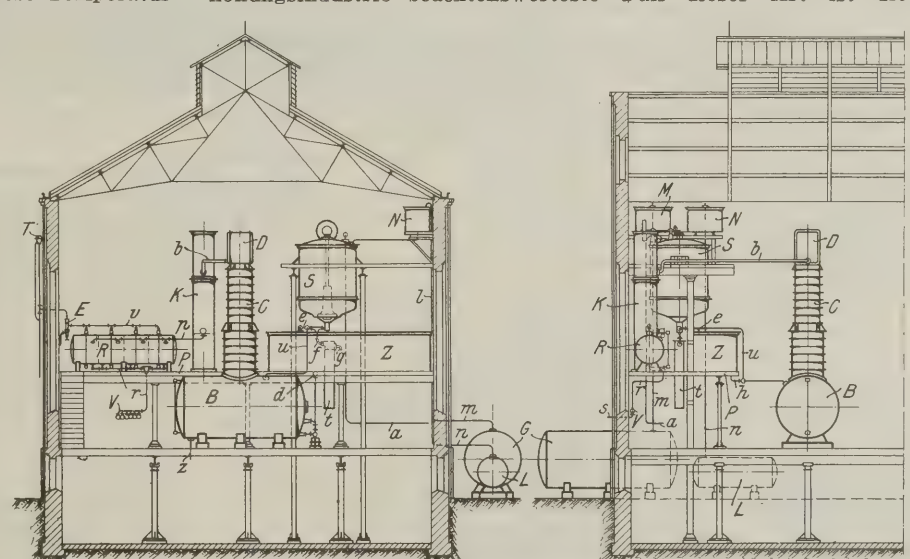


Abb. 5 und 6. Waschen und Reinigen der Rohprodukte.

Überführung des Äthylens und verwandter Kohlenwasserstoffe des Koksofen- oder Leuchtgases mittels Schwefelsäure in Alkohole und Äther. Dieses Verfahren hat 1894 Fritzsche[3]) in einer Versuchsanlage auf einer Steinkohlenkokerei des westfälischen Reviers erprobt, ohne daß es weitere Verbreitung erlangt hätte. In neuester Zeit hat man es jedoch wieder aufgegriffen und chemisch und technisch verbessert[4]).

Die technische Alkoholerzeugung aus Kohlendestillationsgasen kann gerade für Deutschland, wo sich die wirtschaftlichen Grundlagen der Gewinnung von Gärungsspiritus wesentlich verschlechtert haben, besondere Bedeutung erlangen. Wird doch gerade der Spiritus, der schon längere Zeit als wertvolles Mittel zum Strecken von Benzol und ähnlichen hochwertigen Motorenbetriebstoffen gilt, neuerdings für solche Zwecke in erhöhtem Maße verwendet, zum Teil in Verbindung mit Ergebnissen der Hydrierverfahren, z. B. dem Tetralin, wie in dem bekannten „Reichskraftstoff" aus Benzol, Spiritus und Tetralin.

[A 217]

[2]) „Brennstoff-Chemie" Bd. 2 (1921) S. 327, 347; Bd. 3 (1922) S. 289.
[3]) DRP 88051, 89598.
[4]) „Glückauf" Bd. 57 (1921) S. 189, 221; „Gas- und Wasserfach" Bd. 67 (1924 S. 1, 14, 53.

Deutsche Forschungsarbeit.

Um Doppelarbeit vorzubeugen und die bei der heutigen deutschen Wirtschaftslage gebotene Gemeinschaftsarbeit deutscher Forschungsstätten im Sinne seines am 1. Februar d. J. in München gehaltenen Vortrages[1]) zu fördern, hat der Kurator und Vorsitzende des wissenschaftlichen Beirates des Vereines deutscher Ingenieure, Geh. Baurat Dr.-Ing. eh. G. Lippart, eine Umfrage an eine Reihe von Forschungsstätten gerichtet und darin um Bekanntgabe der im Gang befindlichen Arbeiten zur Veröffentlichung an dieser Stelle gebeten. Auskünfte über deutsche Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens und der angrenzenden Gebiete haben daraufhin bis jetzt folgende Stellen gegeben:

I. Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.
II. Aerodynamische Versuchsanstalt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, Göttingen.
III. Institut für Angewandte Mechanik der Universität Göttingen.
IV. Hydrodynamisches Forschungsinstitut der Universität Göttingen.
V. Institut für mechanische Technologie der Techn. Hochschule Braunschweig.
VI. Laboratorium für Wärmekraftmaschinen der Techn. Hochschule München.
VII. Braunkohlen-Forschungsinstitut Freiberg.
VIII. Institut für landwirtschaftliche Maschinenkunde der Universität Halle.

Die mitgeteilten Arbeiten sind nachstehend übersichtlich geordnet. Die laufenden Nummern der Forschungsanstalten sind den Arbeiten beigefügt. Ferner ist der Stand der Arbeiten durch lateinische Buchstaben gekennzeichnet, und zwar bedeutet:

a abgeschlossen, aber noch nicht veröffentlicht,
b in Arbeit,
c geplant.

Maschinenbau.

Schmierung und Lager.

1) Untersuchung des neuen Öldickenmessers, Ausbau der photographischen Registriervorrichtung (I b).
2) Vervollständigung des Lagerversuchstandes und Untersuchung der Verlagerung in Abhängigkeit von Lagerluft, Zapfendruck und Zapfengeschwindigkeit (I b).
3) Untersuchung der Reibungsverluste in Lagern in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung der Öle zur Klärung des Begriffes „Schmierfähigkeit" (I b).
4) Untersuchung des Übergangs zwischen der Reibung der Ruhe und der Reibung der Bewegung bei ebenen Metallflächen unter Berücksichtigung der Keilbildung zwischen den aufeinander gleitenden Teilen (I b).
5) Vergleichende Untersuchungen der Reibungsverluste bei Gleit- und Wälzlagern in einem Motor mit auswechselbaren Lagerschildern (auf Antrag einer Firma) (I b).
6) Untersuchung der Vibrationen in Kugellagern (auf Antrag einer Firma) (I b).
7) Zähigkeitsmessungen in absolutem Maß und Untersuchung technischer Zähigkeitsmesser (I b).

Kraftmaschinen.

8) Gleichstrom-Dampfmaschine: Einfluß der Dampfspannung auf die Reibungsverhältnisse (VI b).
9) Glühkopf-Zweitakt-Rohölmaschine: Einfluß von Veränderungen der Drehzahl, der Spülung, des Auspuffs, der Einspritzung und Zündung (VI b).
10) Zündpunktfeststellung von Dieselmaschinenölen bei verschiedenen Drücken (VI b).

Arbeitsmaschinen.

11) Ventilatorkühler: Einfluß des Zerstäubungsgrades auf die Kühlwirkung (VI b).
12) Einfluß der Drehzahl und der Leistung auf das Rahmausbeuteverhältnis bei Handmilchschleudern (VIII b).

Wärme.

1) Messung der spezifischen Wärme von Ammoniak und Methan bei Atmosphärendruck und hoher Temperatur (I b).
2) Untersuchung eines neuen Apparates mit elektrischer Schutzheizung für Wärmeleitungsmessungen (I b).
3) Verdampfungswärme des Wassers oberhalb des Sättigungsdruckes von 10 at (I b).

Luftfahrt:

1) Planmäßig veränderte Tragflügelprofile (II a).
2) Flügel mit Ausschnitten (II a).
3) Flugzeugmodelle mit laufenden Propellern (II a).
4) Reibende Grenzschichten an Tragflügeln (II a).
5) Schaufelgitter in Anwendung auf Turbinen und Luftschrauben (II b).
6) Der Einfluß der Schraube auf Rumpf, Flügel und Leitwerk (II b).
7) Untersuchung von Profilen bei großen Kennwerten (II b).
8) Sechs Komponentenmessungen an Flugzeugmodellen (II c).
9) Luftschraubenuntersuchungen (II c).
10) Arbeiten über Tragflügel- und Grenzschichtentheorie (III a).

[1]) Z. Bd. 68 (1924) S. 89.

Strömung.

1) Verschiedene Diffusoren (II b).
2) Geschwindigkeitsverteilung der turbulenten Bewegung in Röhren und Kanälen (III a).
3) Strömung in erweiterten und verengten Kanälen (III b).
4) Strömung in gekrümmten Kanälen mit und ohne Erweiterung bzw. Verengung (III c).
5) Strömungs- und Widerstandsversuche bei Geschwindigkeiten, die mit der Schallgeschwindigkeit vergleichbar sind (IV c).
6) Strömung in umlaufenden Kanälen (IV c).
7) Aufnahme von Strömungsbildern verschiedener Art (IV c).
8) Strömungsvorgänge in Kreiselpumpen mit besonderer Berücksichtigung der Strömung in den Laufkanälen, Spaltwassermengen (V b).
9) Rohrwiderstand bei sehr hohen Kennwerten (IV c).
10) Wasserströmungen bei plötzlicher Richtungs- und Querschnittänderung (V b).
11) Stoßverluste in Schaufelkanälen (V b).
12) Druckabfall in glatten Rohren und Ausflußziffer von Normaldüsen (Ia, s. Z. Nr. 22 S. 581; Forschungsheft 267).

Baustoffe.

1) Plastisches Verhalten verschiedener Körperformen und Baustoffe (III b).
2) Festigkeit von Eisen, Messing und Kupfer bei allseitigem Spannungszustand (III b).
3) Zusammendrückung von Kugel, Zylinder und Ebene bei Berührung unter verschiedenem Druck (I b).
4) Einfluß von Härtung und Temperatur auf die Ausdehnung und Beständigkeit von Stahl (I b).
5) Untersuchung über Angreifbarkeit von Handelsaluminium (I b).
6) Schwingungsfestigkeit bei Biegungs- und Drehbeanspruchung (V b).
7) Untersuchungen über Hartguß (V b).

Meßtechnik.

1) Eichung von Düsen und Staurändern (IV c).
2) Festlegung der absoluten Nullpassung zwischen Innen- und Außenmaß (I b).
3) Ausbau der Prüfeinrichtungen für die wichtigsten Dinormen (I b).
4) Untersuchung von Gleiswagen auf Durchbiegung von Brücken und Hebeln (I b).
5) Differentialmanometer für hohe Drücke (I b).

Bereits abgeschlossene und veröffentlichte Arbeiten sind nicht angeführt. Wir werden diese Veröffentlichung fortsetzen, wenn weitere Berichte eingehen. [M 398]

August Jegher †.

Am 13. Februar d. J. ist August Jegher, der langjährige Herausgeber der Schweizerischen Bauzeitung, im 81. Lebensjahr gestorben. Mit ihm verliert die Schweizer Ingenieurwissenschaft und darüber hinaus die gesamte Technik einen hervorragenden Vertreter.

Seine Ausbildung als Ingenieur erhielt August Jegher nach zweijährigem Besuch des Karlsruher Polytechnikums auf der Ingenieurschule des Eidgen. Polytechnikums in Zürich, wo angesehene Lehrer wie Zeuner, Clausius und Culmann unterrichteten. Als Angestellter einer großen österreichischen Bauunternehmung ging er 1871 nach Pest, wo ihm bald die Vertretung des bisherigen Bauleiters bei der Donauregulierung Pest—Ofen übertragen wurde. 1879 kehrte er wieder in die Schweiz zurück. Er beteiligte sich dort eifrig an der Reorganisation des Polytechnikums, die besonders vom Ausschuß der Gesellschaft ehemaliger Polytechniker (Zürich) (G. E. P.) angestrebt wurde.

Eine größere Aufgabe, für die er so recht eigentlich berufen war, bot sich ihm 1880: die Organisation der Schweizerischen Landesausstellung für 1883 in Zürich, zu deren Generalsekretär er ernannt wurde. Diese Arbeit gestattete ihm vollen Einblick in die Verhältnisse der verschiedenen schweizerischen Wirtschaftsgebiete, was für seine weitere Laufbahn von großer Bedeutung war. Im Anschluß an diese Tätigkeit übernahm er die Stelle eines Vorstehers des kommerziellen Bureaus von Escher, Wyß & Cie. Seit 1892 war Jegher Präsident der G. E. P.

Als Sekretär des Vereins Schweizerischer Maschinen-Industrieller trat er in rege Beziehungen zu der Schweizerischen Bauzeitung, die damals von seinem Freunde Waldner geleitet wurde, und vertrat diesen während einer ernsteren Krankheit. Nach Waldners Tod im Sommer 1906 übernahm er die Leitung der Schweizerischen Bauzeitung. Hierbei hat er es verstanden, in vorbildlicher Weise mit einem an Umfang beschränkten Organ ganz Hervorragendes für die Ingenieurwissenschaft zu leisten; denn seine Zeitschrift ist stets eine Fundgrube technischen Wissens auf fast allen Gebieten unsrer Wissenschaft gewesen. Jegher verstand es eben, die Spitzenleistungen und wichtigen Fortschritte der Technik der Veröffentlichung zuzuführen. Erst vor Jahresfrist, im achtzigsten Lebensjahr, übertrug er die Leitung der Schweizerischen Bauzeitung an seinen Sohn Carl Jegher.

Die Ernennung zum Ehrenmitglied der G. E. P. und des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins faßte er nicht als bloße Ehrung auf, sie war ihm vielmehr eine Verpflichtung zu verstärkter Mitarbeit. So hat er bis ins letzte Jahr selten an einer Ausschußsitzung der G. E. P. gefehlt. Ein ehrendes Andenken auch von seiten der deutschen Ingenieure ist ihm gewiß. [M 407] Sd.

Hydrotorf.

Von Dipl.-Ing. R. Klasson, Moskau.

Beim Hydrotorfverfahren wird das Torfmoor durch kräftige Wasserstrahlen abgebaut und in Torfbrei umgewandelt, der durch Torfsauger und Verreiber verarbeitet und durch Rohrleitungen nach den Trockenfeldern gepumpt wird. Der flüssige Hydrotorfschlamm läßt sich chemisch bearbeiten. Betrieb von Hydrotorfanlagen. Ergebnisse des Verfahrens.

Angesichts der großen Bedeutung, die die billige Herstellung von Brennstoff aus Torf nicht nur für Rußland sondern auch für Deutschland mit seinen ausgedehnten Torfmooren spielen kann, glaube ich, daß eine kurze Mitteilung über das sogenannte Hydrotorfverfahren, das in den letzten Jahren in Rußland ausgearbeitet worden ist, Interesse finden wird[1]).

Besondere Bedeutung hat der Torf als Brennstoff gewonnen, nachdem er bei Verwendung von Kettenrosten mit Schacht- oder Treppenrostvorfeuerung mit einem Schlage aus einem minderwertigen Brennstoff zu einem hochgeschätzten emporgerückt ist. Es ist nämlich im vergangenen Jahre gelungen, in den beiden russischen Überlandkraftwerken bei Bogorodsk und Schatura bei Anwendung der oben erwähnten Feuerungen mit luftrocknem Torf eine Verdampfung von 40 bis 50 kg auf 1 m² Heizfläche bei üblichen Wasserrohrkesseln zu erzielen. Mit Steinkohlen kann man eine derartige Beanspruchung der Heizfläche nur schwer erreichen. Jetzt arbeiten in Rußland Wasserrohrkessel in ununterbrochenem Betriebe mit dauernden mittleren Belastungen von über 35 bis 40 kg/m².


Abb. 1. Demag-Dampfkrane zum Herausziehen der bloßgelegten Wurzeln.

Das Hydrotorfverfahren ist in planmäßiger Arbeit in den letzten 6 bis 7 Jahren im Überlandkraftwerk Elektroperedatscha (75 km von Moskau entfernt, bei der Stadt Bogorodsk) ausgearbeitet worden; es ist in Rußland und im Ausland seinen Erfindern, den russischen Diplom-Ingenieuren R. Klasson und V. Kirpitschnikow, patentiert.

In Z. Bd. 67 (1923) S. 6 ist das Verfahren als „finnisches" bezeichnet; in der französischen Zeitschrift „Chaleur et Industrie" 1922 Nr. 32 ist es als „dänisches" Verfahren erwähnt. In der Tat ist das Verfahren in Rußland vom Anfang bis zum Ende durchgearbeitet, und sowohl in Dänemark wie in Finnland arbeiten die Anlagen nicht selbständig, sondern nach unsern Zeichnungen, wobei erwähnt werden muß, daß sich in Finnland das russische Verfahren teilweise in selbständigen Konstruktionen weiter entwickelt haben soll. In Rußland, dessen Torfreichtum sich für das europäische Gebiet allein über 35 Mill. ha erstreckt, könnte Torf der wichtigste Brennstoff der mittleren und nördlichen Landstrecken werden. Es werden jedoch bislang nur etwa 110 bis 120 Millionen Pud (d. h. rd. 2 Millionen t) jährlich erzeugt, und zwar als Maschinenformtorf mit den sogenannten „Pressen" nach dem bekannten Verfahren von Dolberg, Anrep u. a. überwiegend in Handarbeit. Die Erzeugung jeder Maschine, die von 32 Mann in der Schicht bedient wurde, betrug in den letzten Jahren in der jährlichen Gewinnungszeit nur rd. 2000 t bei zwei Schichten, so daß große Betriebe, die auf Torf angewiesen waren, wie die erwähnte Überlandzentrale bei Bogorodsk, die großen Spinnereien und andre Fabriken, ganze Heere von 5000 bis 6000 Männern und Frauen im Sommer für die Torfgewinnung verwenden mußten.

Das Hydrotorfverfahren bricht vollständig mit den bisherigen Verfahren der Torfgewinnung und verwendet für die Gewinnung und Förderung des Torfes nur Maschinenanlagen.

Das Verfahren wird in der deutschen Literatur als „Spritzverfahren" bezeichnet, womit gesagt werden soll, daß der Torf abgespritzt wird. Diese Bezeichnung ist nicht besonders kennzeichnend, denn das Wichtige ist nicht nur das Abspritzen, sondern der vollständige Abbau des Torfmoores durch

[1]) Vergl. Z. Nr. 22 S. 588.

Abb. 2. Plan der neuen Torfgewinnung für das Kraftwerk Elektroperedatscha.

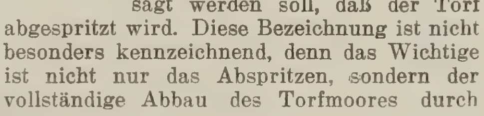


Abb. 3. Plan der alten Anlage nach dem Maschinenformtorf-Verfahren.

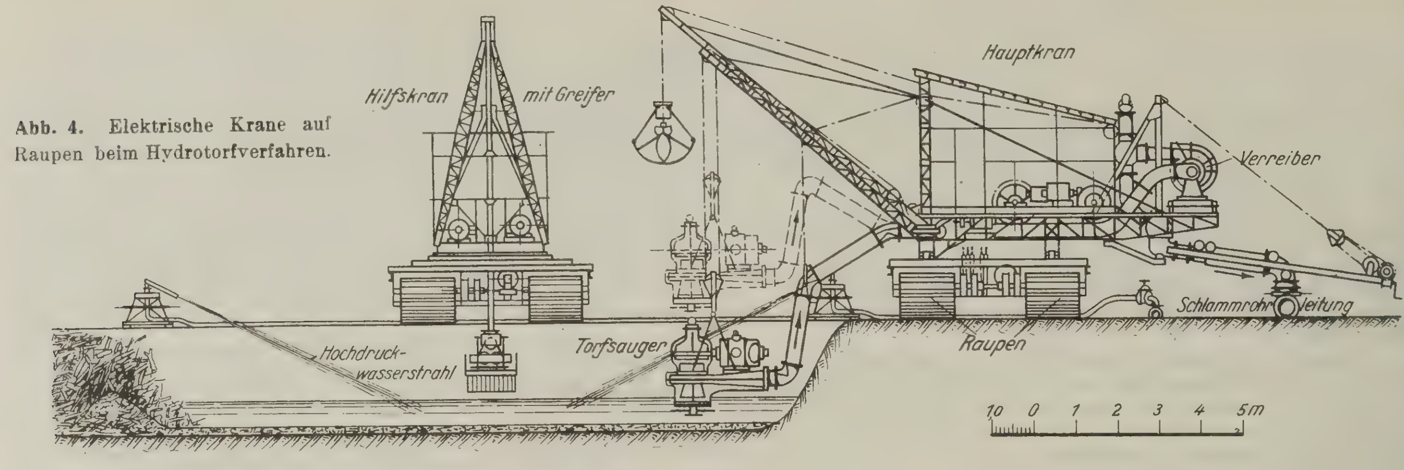


Abb. 4. Elektrische Krane auf Raupen beim Hydrotorfverfahren.

kräftige Wasserstrahlen, das Verwandeln in Torfbrei, das Aufsaugen und Verarbeiten dieses Breies durch Torfsaugerturbinen und Verreiber, und schließlich seine Weiterbeförderung durch Schlammleitungen nach dem Trockenfelde.

Die Verwendung selbsttätiger Maschinen, wie sie vielfach in Deutschland, in der Schweiz und in Dänemark benutzt werden (Strenge, Schenck, Wieland u. a.), ist nur bei holzfreiem Moore möglich. Der überwiegende Teil der Torfmoore, sowohl in Rußland wie in den nordischen Ländern (Skandinavien), besteht dagegen aus holzreichen Mooren, die die Verwendung aller dieser Maschinen ausschließen. Eine Abtrennung der Holzeinschlüsse von der Torfmasse auf mechanischem Weg ist bis jetzt nicht gelungen, so daß auch die größten und stärksten Maschinen auf holzreichem Moore versagen. Umgekehrt ist das Hydrotorfverfahren gerade für holzreiche Moore das einzig geeignete, weil dabei die großen Holzwurzeln und Holzstämme, die im Moor in weiten Schichten übereinander lagern, vom Wasserstrahl freigelegt werden; die Torfmasse wird von ihnen abgewaschen, und die betreffenden Holzwurzeln können mit Greifern von einem Dampf- oder elektrischen Kran entfernt werden, Abb. 1.

Eine genaue Beschreibung dieses Verfahrens würde zu weit führen; ich beschränke mich daher auf einige Abbildungen mit dem notwendigen erläuternden Text. Dies ist um so eher möglich, als sich jetzt auch in Deutschland eine Gesellschaft gebildet hat, die nach dem Hydrotorfverfahren nach russischen Lizenzen arbeitet. Diese Gesellschaft hat das Torfmoor „Schwaneburg" in Oldenburg erworben und führte dort den Betrieb im Jahre 1923 mit zwei Torfsaugern durch[1]).

Da das Moor holzfrei ist, so kann der Betrieb ungestört vor sich gehen, wobei jeder Torfsauger sehr Bedeutendes leistet. Je zahlreicher die Holzeinschlüsse sind, desto schwerer gestaltet sich der Betrieb, aber, wie schon gesagt, das Hydrotorfverfahren ist für holzreiche Moore, die in Rußland und Skandinavien viele Millionen Hektar bedecken, vollständig geeignet.

[1]) Dieser Betrieb kann von ernsten Interessenten besichtigt werden, ebenso auch der große russische Betrieb bei Moskau.

Abb. 6. Schema der Schlammrohrleitung

Abb. 7. Schema der Wasserleitung

von der Hochdruckwasserpumpe — zum Spritzenschlauch — 203 ϕ — 152 ϕ — 12,0 — 30,0

Abb. 5.

a Nebengräben
b Hauptgraben
c festliegende Schlammrohrleitung 570 mm ϕ
d zerlegbare Schlammrohrleitung 570 mm ϕ
e Wasserspeicher
f Torfschlammspeicher
g Torfpumpe
h Hochdruckwasserpumpe
i Kran mit Torfsauger
i_1 Hilfskran
k Eisenbahn 750 mm Spurweite
l tragbare Eisenbahnschienen

die im 1. Jahre / die im 2. Jahre abzubauende Fläche

Abb. 5 bis **7.** Anlage der Trockenfelder mit den zugehörigen Maschinen und Einrichtungen.

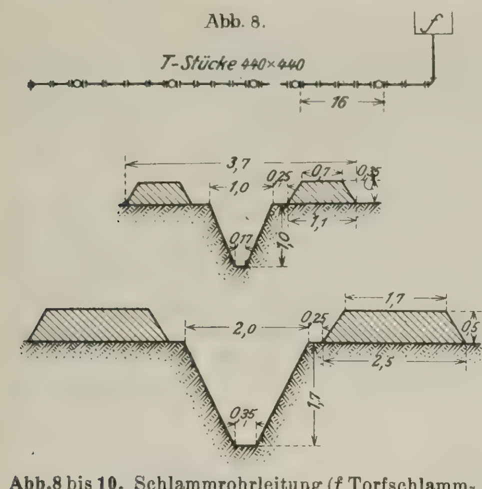


Abb. 8 bis 10. Schlammrohrleitung (f Torfschlammspeicher), Nebengraben und Hauptgraben.

Das Verfahren hat die folgenden Hauptvorteile:

1) gute Zentralisation des Betriebes, wie aus Abb. 2 und 3, Pläne der Torfgewinnung auf der Zentrale Elektroperedatscha, hervorgeht. In Abb. 3 ist die Verteilung der Maschinen nach dem früheren Verfahren dargestellt. Es sind insgesamt 46 Maschinen, die zusammen in den letzten Jahren 125000 t erzeugten. Nach Abb. 2 werden acht Torfsauger gebraucht, die dieselbe Menge Torf erzeugen können.

Bei der alten Anlage ist der Betrieb gar nicht zentralisiert; die am weitesten abliegenden Maschinen sind 6 bis 7 km von der Zentrale entfernt, so daß das Ganze vom technischen Personal schwer übersehen werden kann, umgekehrt stehen beim Hydrotorfverfahren die acht Maschinen sämtlich wie Kriegschiffe in einer Linie und arbeiten alle gleichzeitig parallel auf einer Strecke von rd. 2 km Länge, so daß die technische Beaufsichtigung die denkbar beste ist.

2) Die Trockenfelder können beliebig nahe an das Kraftwerk herangerückt werden, da der Transport des Torfschlammes durch weite Rohre billig und leicht, dagegen die Beförderung der fertigen Torfsoden, besonders im Winter auf große Entfernung, kostspielig ist.

3) Die Torfsoden können in beliebigen Formen hergestellt werden, die den Bedürfnissen der Kesselfeuerung angepaßt sind.

4) Wie jeder Schlamm- und Breitorf ist der Torf nach dem hydraulischen Verfahren bedeutend fester als der ehemalige Maschinentorf und bröckelt nicht ab, so daß auch dem Versand auf weite Entfernungen nichts entgegensteht. Diese Härte und Elastizität des Hydrotorfs ist unmittelbar von seiner Verarbeitung abhängig. Der Torf wird in sogenannten Verreibern zu einer homogenen amorphen Masse durchgearbeitet, und je stärker diese Verarbeitung, desto höher ist die Güte des Torfes.

5) Weitere Vorzüge des Hydrotorfverfahrens liegen in den Eigenschaften der breiartigen Torfmasse; de. Torf läßt sich in diesem Zustande leicht chemisch bearbeiten, und zwar mit verschwindend geringen Mengen von Reagenzien. Die zwei Jahre langen Studien unter Leitung des Professors Dr. Georg Stadnikoff haben zu außerordentlich günstigen Ergebnissen geführt. Der chemisch beeinflußte koagulierte Torf läßt sich auf mechanischem Weg entwässern. Der Torfbrei gelangt durch weite Rohrleitungen in die Fabrik, wird dort entsprechend chemisch bearbeitet und tritt in koaguliertem Zustand in eine Reihe von Entwässerungsmaschinen ein; aus ihnen gelangt er zuletzt in die große Presse, Bauart Madruck, geliefert von der Demag, Duisburg, wo er bis auf 60 bis 65 vH Wassergehalt entwässert werden soll. Nachträglich werden diese Torfkuchen in Wölfen zerrissen und mit den Abgasen und dem Abdampf der Zentrale in Trommel- und Röhrentrocknern getrocknet, um dann in Pulverform unter Verwendung geeigneter Düsen unter den Kesseln zu verbrennen. Eine Fabrik für diese Zwecke ist in der Nähe des Überlandkraftwerkes Bogorodsk erbaut worden; alle Teile der Fabrik sind eingehend geprüft worden, und wir hoffen, daß die Fabrik nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich Erfolg haben wird. Sie kommt in diesem Jahre in Betrieb.

a Propeller
b Laufturbinenrad
c Leitturbinenrad
d Schaufelrad
e flache Mutter

Abb. 11 bis 14. Torfsauger.

Einführung des Verfahrens.

In Moskau kam noch kürzlich ein erbitterter Kampf zwischen dem neuen maschinellen Hydrotorfverfahren und dem alten, fälschlich mit dem Namen „Maschinenformtorf" bezeichneten Verfahren zum Austrag. Die Vertreter des alten Verfahrens wollten lange Zeit die Vorzüge des neuen nicht anerkennen und führten hauptsächlich als Gegengrund die Vergrößerung des Aschengehaltes beim neuen Verfahren ins Feld. Der Aschengehalt ist tatsächlich öfters bei unvorsichtiger Handhabung des kräftigen Wasserstrahles (15 at bei 1 Zoll Durchmesser der Düse) gesteigert worden, indem letzterer bis auf den Sandboden durchdrang. Auch der Torfsauger, der an der untersten Stelle der Welle mit einem schraubenartigen Propeller besetzt war, rührte Sand auf. Dieser Umstand, der allerdings die Güte des Torfes beeinträchtigte, wird nun durch Verwendung flacher, anstatt schraubenförmiger Propeller und einer großen tellerförmigen Mutter vermieden. Jetzt sind alle Bedenken behoben, und das Verfahren ist behördlich in Rußland anerkannt. Die ersten Maschinen wurden mit außergewöhnlichen Anstrengungen meistens mit Handarbeit in Rußland fertiggestellt.

Ende 1920 wurde das Hydrotorfverfahren persönlich von dem Präsidenten der Volkskommissare Lenin unter Schutz genommen, der die große Bedeutung des Verfahrens für die zukünftige Versorgung Rußlands mit Brennstoff einsah und größere Mittel für die weitere Ausbildung des Verfahrens und die Bestellung der nötigen Maschinen im Ausland in Gold zur Verfügung stellte.

Demzufolge wurden von mir im Jahre 1921/22 in Deutschland zahlreiche Maschinen bestellt; insbesondere die Hauptmaschinen, die Torfsauger und Torfverreiber, wurden von der Firma A. Borsig, Tegel, in engem Zusammenarbeiten mit den Erfindern ausgearbeitet und in mustergültiger Weise hergestellt. Auch die notwendigen Krane mit Raupen, die die Bewegung auf dem Moor ermöglichen, die Greifer, Rohrleitungen usw. wurden in großen Mengen in Deutschland hergestellt (Orenstein & Koppel, Schenck, Burgdorf u. a.). Die schwierigen Transportverhältnisse gestatteten leider nicht, alle bestellten Maschinen recht-

zeitig zur Torfkampagne 1922 zu beschaffen, so daß im Jahre 1922 im Durchschnitt nur 3 bis 4 Maschinensätze während des Sommers auf der Überlandzentrale bei Bogorodsk in Betrieb kommen konnten; diese Maschinen haben rd. 35 000 t lufttrocknen Torf für die Zentrale geliefert.

Im Jahre 1923 wurde der Betrieb an drei verschiedenen Stellen — bei Bogorodsk, bei Jaroslaw und bei Nischny-Nowgorod eingeführt. Während des Sommers wurden in dem Hauptbetriebe rd. 90 000 t Torf für die Zentrale bei Bogorodsk geliefert, wo die Maschinen nach Abb. 2 aufgestellt sind.

Von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung des Hydrotorfverfahrens und seine Verbreitung ist die deutsche Anlage auf dem Moor „Schwaneburg". Bei der kurzen Torfkampagne, die höchstens vier Monate dauert, können alle Neuerungen und Verbesserungen nur für die nächste Torfkampagne verwertet werden. Unsre Arbeit in Rußland litt sehr darunter, daß die neuen Maschinen nicht rechtzeitig zur Kampagne fertiggestellt werden konnten. Der deutschen Hydrotorfgesellschaft steht dagegen die mächtige deutsche Maschinenindustrie zur Verfügung, und etwaige Neukonstruktionen werden jetzt zweifellos in entsprechend schnellerem Zeitmaß weiter ausgebildet werden können.

Im Jahre 1923 erzielten wir in Rußland bei sehr holzreichem Moor in nur dreimonatigem Sommerbetrieb 13 000 t lufttrocknen Torf hoher Güte für den Torfsauger, und diese Leistung wird in diesem Jahre noch bedeutend gesteigert werden.

In enger Gemeinschaft mit dem Hauptkran, mit dem der Torfsauger und der Verreiber eine untrennbare Einheit bilden, arbeitet ein besonderer Kran, der die bloßgelegten Holzeinschlüsse aus der Pütte herauszieht und damit erst die Arbeit des Hauptkranes ermöglicht. Für diesen Zweck sind fünf Dampfkrane der Demag in Betrieb gewesen, Abb. 1. Die ursprünglich aufgetauchten Bedenken, die schweren Eisenbahnkrane der Demag, die über 25 t wiegen, würden im weichen Moor versinken, haben sich glücklicherweise nicht bestätigt. Die Krane verlegen selbst die nötigen Schienen und Schwellen, die je zu einem Satz von 3 m Länge zusammengestellt sind, so daß die Handarbeit nur gering ist. In diesem Jahre kommen als Ergänzung elektrische Hilfskrane auf Raupen zur Verwendung, Abb. 4. Sie sind in Rußland gebaut worden, nachdem das staatliche Hydrotorf-Unternehmen mit einer großen Maschinenfabrik zur Herstellung seiner eigenen Maschinen verbunden worden ist; ihre Leistung übertrifft die der Dampfkrane ganz erheblich, da sie keine Zeitverluste bei der Schienenverlegung erleiden.

Das Arbeitsverfahren.

In Abb. 5 bis 10 sind die Trockenfelder und die Lage der zugehörigen Maschinen dargestellt. Je zwei Torfsauger, Abb. 11 bis 14, pumpen die geförderte Torfmasse in einen Speicher, aus dem sie durch eine besondere Pumpe in die Hauptleitungen des Trockenfeldes getrieben wird. Die Hauptleitungen bestehen aus Rohren von 565 mm Dmr. und 3 mm Wandstärke. Das Trockenfeld selbst wird durch Hauptkanäle entwässert, neben denen Eisenbahnstränge liegen; auf diesen führt man den trocknen Torf ab, um das Feld zur Aufnahme neuer Torfmasse wieder freizumachen. Das Trockenfeld hat eine normale Länge von rd. 2000 m und ist ein für alle Mal eingerichtet. In die Hauptkanäle münden eine Reihe Nebenkanäle, die das Trockenfeld in einzelne Streifen von rd. 30 m Breite einteilen; auf diese rd. 300 m langen Streifen wird mittels leicht auseinandernehmbarer Rohrleitungen die Torfmasse in einer Höhe von rd. 160 bis 200 mm aufgegossen und gleichmäßig verteilt. Diese ortbeweglichen Rohrleitungen werden an die T- und Kreuzstücke angeschlossen. Nachdem die Masse ausgegossen ist, wird die Rohrleitung (Durchmesser 440 mm, Wandstärke 1,5 mm) auseinander genommen und auf den nächsten Streifen gerollt. Hervorzuheben ist, daß die Rohre nicht untereinander mit Schrauben verbunden werden, sondern unmittelbar eines neben das andere gelegt wird ohne jegliche Verbindung. Die zwischen den Flanschen entstehenden Lücken werden innerhalb weniger Sekunden von der Torfmasse verstopft, so daß nur im ersten Augenblick diese Rohrleitung nach allen Seiten spritzt. Nach kurzer Zeit, weniger als 1 Minute, ist die Leitung aber vollkommen dicht, und kein Tropfen Masse fließt mehr heraus. Die Masse fließt am Ende des Stranges aus, und entsprechend dem Ausfluß wird ein Rohr nach dem andern weggerollt und auf den nächsten Streifen gebracht. Die Leute gehen in hohen Stiefeln in der flüssigen Torfmasse, die höchstens 200 mm tief ist, und rollen die leichten Rohre vor sich her. Das Trockenfeld wird normal nicht abgebaut. Die Krane laufen in der Nähe der Speicher, die Trockenfelder können aber ziemlich weit von dem abzubauenden Moore entfernt liegen. Selbstverständlich kann die Art und Weise der Verarbeitung des Moores wechseln; auch ist es möglich, das Trockenfeld allmählich abzuarbeiten und durch neue Felder zu ergänzen, richtiger ist es jedoch, das Trockenfeld ein für allemal einzurichten, so daß es jahrelang im Betrieb bleibt.

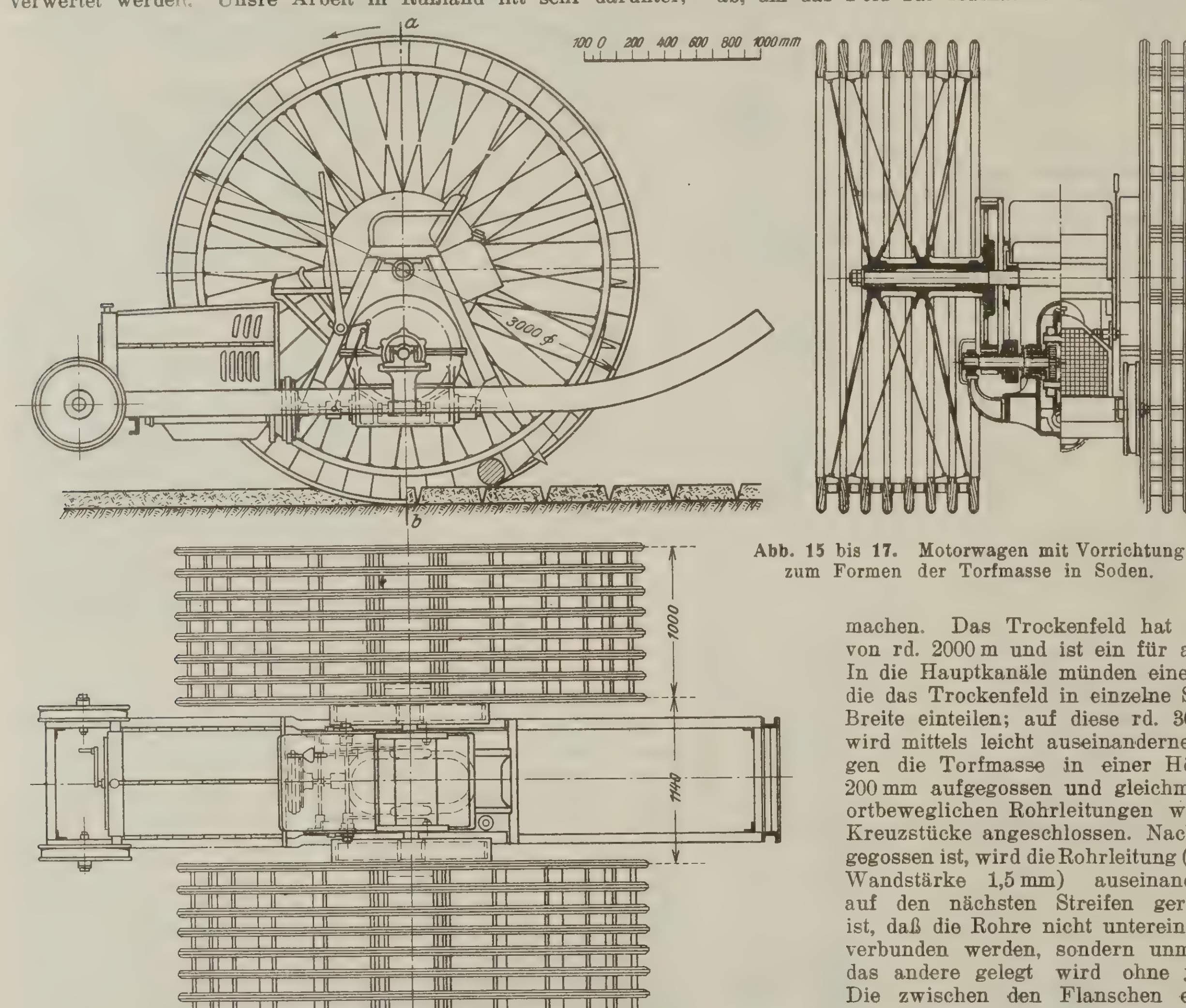


Abb. 15 bis 17. Motorwagen mit Vorrichtung zum Formen der Torfmasse in Soden.

Der Torfsauger ist die wichtigste und unentbehrlichste Maschine des ganzen Verfahrens. Im unteren Teil besteht er aus je einem Turbinenlaufrade mit zugehörigem Leitrad. Die Unterkante des Laufrades gleitet an scharfen gezackten Messern, die die etwa vorhandenen kleinen Holzstücke und die Fasern zerschneiden. Ein großer flacher Propeller jagt alle größeren Holz-

stücke von der Mündung des Torfsaugers weg und hält diese Mündung für die zuströmende Masse frei. Ein Verstopfen des Torfsaugers, der in jahrelanger Arbeit ausgearbeitet worden ist, kommt nie vor; es ist dies die einzige Maschine, die im Torfschlamm ohne Verstopfung arbeiten kann, alle andern Pumpen und sonstigen Maschinen versagen vollkommen.

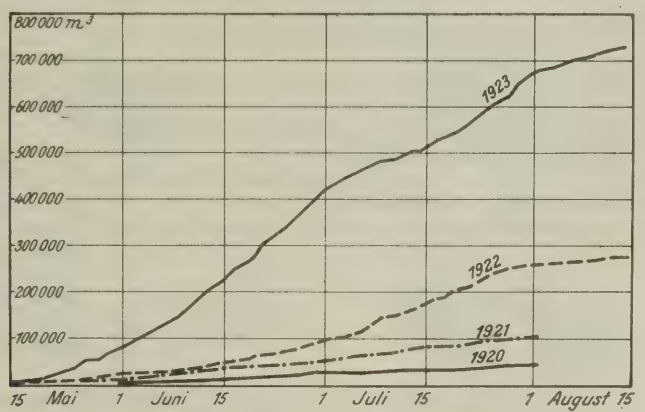


Abb. 18. Vergleich der Torfgewinnung in den Jahren 1920 bis 1923.

Abb. 4 stellt die allgemeine Anordnung des Hauptkranes und des Hilfskranes zum Herausziehen des Holzes dar. Beide Krane stehen auf Raupen und haben durchweg elektrischen Antrieb. Dies ist die letzte vollkommenste Konstruktion, die im Sommer dieses Jahres bei Moskau (Bogorodsk-Zentrale) arbeitete. Die Torfmasse wird von dem Torfsauger, Abb. 11 bis 14, gehoben, verarbeitet und in den Verreiber getrieben. Hier wird die Torfmasse weiter durch ein System stählerner Messer zerrieben und verarbeitet und dann als ganz amorphe gleichförmige Masse unter einem Druck von rd. 1½ at nach dem Speicher getrieben.

Die Aufstellung des Hauptkranes auf Raupen ermöglicht es, den Kran öfter hin und her zu bewegen, um den Torfsauger dem Einflusse des sich ansammelnden Holzes zu entziehen. Zu diesem Zweck besteht eine teleskopische Rohrverbindung zwischen dem Kran und der Verreibermündung nebst der Schlammleitung, die es ermöglicht, den Kran hin und her zu bewegen, ohne die Verbindung mit der Schlammleitung zu unterbrechen.

Auf dem Trockenfelde wird die Torfmasse, nachdem sie ihr Wasser an das Trockenfeld abgegeben hat und in plastischen Zustand übergegangen ist, was bei entsprechender chemischer Bearbeitung des Torfes im Augenblick der Gewinnung durch Zusatz gewisser Chemikalien zum Druckwasser schon nach 1 bis 2 Tagen eintritt, von einem Motorwagen, Abb. 15 bis 17, der nur auf zwei großen Rädern läuft und mit einer Formmaschine ausgerüstet ist, in Soden geformt, um nach dem üblichen Verfahren getrocknet zu werden. Außer dieser Formvorrichtung werden zum Formen der Soden auch besondere Handgeräte benutzt, die es ermöglichen, die Torfsoden kleiner zu halten, als es bei der Maschinenformung möglich ist, wo die Sode ein gewisses — leider ziemlich beträchtliches — Gewicht haben muß, um immer aus der Form herauszufallen. Da die großen Soden langsamer trocknen, wurde im vergangenen Sommer fast ausschließlich Handarbeit beim Sodenschneiden verwendet.

Im Jahre 1924 werden in Rußland insgesamt 20 Maschinensätze, die alle bereits vorhanden sind, im Betrieb sein. Die Entwicklung des Hydrotorfverfahrens wird am besten durch die Schaulinien, Abb. 18, veranschaulicht, die die in den letzten vier Jahren verarbeiteten Rohmassen in Raummetern darstellen.

[A 1993]

Generatorgas aus Kohlenstaub.

Der Verwendung von Generatorgas aus bituminösen Kohlen standen bisher die folgenden bei der Herstellung des Gases auftretenden Nachteile entgegen: 1. die Verunreinigung des Gases durch Teer, 2. die ungleiche Zusammensetzung des Gases, 3. die mangelnde Fähigkeit der Regelung. Die beiden letzten Nachteile sind in der unvermeidlich hohen Brennstoffschicht des Gaserzeugers begründet. R. T. Haslam und Louis Harris[1]) haben daher versucht, festzustellen, wie alle diese Mängel durch Einführung eines mehrfach im Schrifttum erwähnten Verfahrens vermieden werden können, indem man Staubkohlen in einer zur vollständigen Verbrennung und zur Bildung von Kohlensäure unzureichenden Menge vergast. Der hierbei entstehende Teer würde sich bei der hohen Temperatur zersetzen und nur einen trockenen Staub zurücklassen, der entfernt werden müßte. Die bequeme Regelung der Füllung mit Kohlen und Luft würde eine gleichmäßige Zusammensetzung des Gases sichern, und die geringe Menge von Brennstoff im Gaserzeuger-Herd jederzeit die Beweglichkeit der Behandlung veränderlicher Füllungen gestatten.

Rhead und Wheeler fanden, daß das Gleichgewichtsverhältnis von $CO : CO_2$ in der Gleichung $CO_2 + C = 2\,CO$ mit der Temperatur stark ansteigt, so daß das Verhältnis von $CO : CO_2$ bei 800 °C = 6,3 : 1 und bei 1100 °C = 500 : 1 beträgt. Haslam und Harris bestimmten nun aus der Reaktionsgeschwindigkeit die Größe des Verbrennungsraumes und bauten einen Versuchsofen mit einem feuerfesten Rohr, das lang genug war, um das Fortschreiten der Reaktion im Ofen mit optischen Pyrometern zu beobachten. Bei der einen Ausführung füllten sie die Kohle so ein, daß sie in einen Luftstrom etwa 20 cm tief fiel und dann in den Ofen eingeführt wurde. Hierbei wurde weniger als die Hälfte der Luft vorgewärmt. Bei der andern Ausführung fielen die Kohlen unmittelbar in den Verbrennungsraum und wurden ganz und gar von der vorgewärmten Luft getroffen. Hierbei setzte sich ein bedeutender Teil der Kohle infolge seiner geringen Geschwindigkeit im Verbrennungsraum fest. Die Luft wurde durch einen von außen heizbaren Vorwärmer aus feuerfestem Rohr mit Füllung von Steinbrocken auf rd. 475 °C vorgewärmt. Die Vergasung des Kohlenstaubes war deshalb nur unzureichend, da sie vollkommen erst bei 1000 °C vor sich geht.

Zahlentafel 1. Versuche mit Kohlenstaub-Vergasung.

Versuch Nr.	Gasanalyse CO_2 vH	O_2 vH	CO vH	Temperatur am Endpunkt °C	Eintritt °C	Kohleverbrauch kg/h	Menge der vorgewärmten Luft
8c	12,3	2,0	10,4	895	495	0,885	alle
5	10,2	0,6	9,4	865	775	0,835	weniger als die Hälfte
7	10,4	4,7	6,5	—	—	—	—
7	12,5	1,2	8,3	900	690	0,527	weniger als die Hälfte

[1]) „Ind. Engg. Chem." Bd. 15 (23) S. 355/57

Zahlentafel 2. Versuche mit Kohlenstaub-Vergasung.

Versuch Nr.	Vergasungsraum für 1 t/h verbrauchten Staubes berechnet m³	beobachtet m³	Verhältnis der Beobachtung zur Berechnung
8c	43,7	74,8	1,72
5 Mitte	62,3	62,3	1,0
7 Anfang	50	56,1	1,12
7 Mitte	56,1	93,5	1,67
		Im Mittel	1,38

Zahlentafel 1 gibt die Ergebnisse von Versuchen mit zwei verschiedenen Kohlen wieder. Die Temperatur fiel von 1300 °C an der Verbrennungskammer bis zu dem Punkt, an dem die letzte Probe genommen wurde, auf 900 °C und noch weniger. Diese Versuche zeigten genau wie die anderen, daß ein Gas mit desto höherem Kohlenoxyd-Gehalt erhalten wurde, je höher die Temperatur der eintretenden Luft war.

Zahlentafel 2 zeigt die berechneten und die beobachteten Beträge der Reduktion. Der Unterschied zwischen den berechneten und den beobachteten Leistungen rührt von den Kohlen her, die sich nicht während des ganzen Versuches auf der Temperatur von 900 °C (welche der Rechnung zugrunde gelegt war) befand, oder von unvollständiger Mischung der Kohlen und des Gasstromes. Die Form des Ofens wurde deshalb mehrmals verändert. Eine gleichmäßige Mischung von Kohlen und Gas zu erhalten, bot große Schwierigkeiten, denn der Kohlenstaub hat die Neigung, sich abzusetzen, und der Gasstrom wurde schichtenförmig. Bei verschiedenen Versuchen wurden unvollständig verbrannte Kohlen durch den Gasstrom aus dem Ofen geblasen.

Aus den Versuchsergebnissen folgern die Verfasser: 1. Es bietet mehr Schwierigkeiten, Generatorgas aus Kohlenstaub zu erzeugen als die Veröffentlichungen erwarten lassen. Dennoch scheint die Lösung der Aufgabe nicht hoffnungslos, und mit Rücksicht auf die Möglichkeit, eine wertvolle Betriebskraft zu erhalten, sollte man weitere Versuche unternehmen. 2. Die Schwierigkeiten scheinen darin zu bestehen, in dem Reaktionsraum eine genügend hohe Temperatur zu erreichen und die nötige innige Mischung zwischen Kohlenstaub und Gas aufrechtzuerhalten. 3. Mit jeder Zunahme der Temperatur der eintretenden Luft erreicht man bessere Ergebnisse. Es scheint wünschenswert, die Luft auf 1000 °C zu erwärmen. 4. Der höchste Betrag an CO bei einem zuverlässigen Versuche betrug 10,4 vH, immerhin wurden für kurze Zeiten 12 bis 13 vH erreicht. 5. Der bei den Versuchen benutzte Verbrennungsraum war 1,38mal größer, als er unter Zugrundelegung der Gleichung sein sollte. [M 85]

Dr. N.

Einzelheiten der Elektrohängebahnen.

Von Prof. P. Stephan, Altona.

Darstellung der heute gebräuchlichen Schienen, Weichen und Wagen an der Hand von neuzeitlichen Ausführungen.

Die Elektrohängebahnen sind ausschließlich Einschienenbahnen, bei denen die Last unterhalb der Tragschiene hängt und deren Fahrwerk unmittelbar durch einen Elektromotor angetrieben wird. Im Laufe der Zeit haben sich die beiden folgenden Bauweisen entwickelt: Nur in verhältnismäßig kurzen Bahnen, wie für die Bedienung von Kesselhäusern und dergl., sind die Endpunkte der Strecke durch eine Schiene verbunden, auf der ein einziger Wagen hin- und zurückfährt. Bei der heutzutage gebräuchlichsten Ausführung bildet die Schiene einen endlosen Ring, auf dem mehrere Wagen immer in demselben Sinn herumfahren.

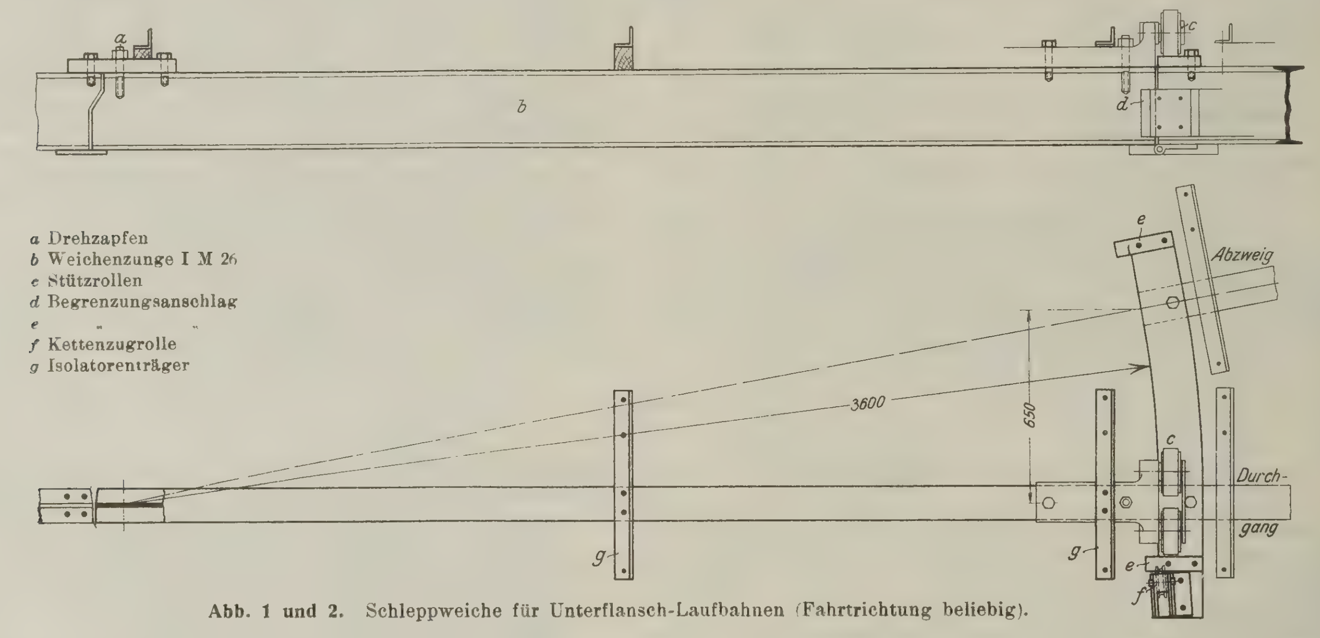


Abb. 1 und 2. Schleppweiche für Unterflansch-Laufbahnen (Fahrtrichtung beliebig).

In beiden Fällen kann ein mitfahrender Führer die Steuerung des Wagens übernehmen, oder die Steuerung arbeitet selbsttätig bzw. unter Mitwirken der an der Be- und Entladestelle befindlichen Arbeiter.

Die Vorzüge der Elektrohängebahnen und ihre weitgehende Anpaßfähigkeit an alle denkbaren Anforderungen des Betriebes und Geländes sind durch vielfache Veröffentlichungen ausreichend bekannt. Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist, einige besondere Einzelheiten nach dem heutigen Stand dieses Sondergebietes der Maschinentechnik zu erörtern. Abgesehen wird dabei von den Schaltungen, worüber schon andere Veröffentlichungen vorliegen.

Die Schienen und Weichen.

Die bei Hängebahnen mit Handbetrieb und bei den Anschlußgleisen von Drahtseilbahnen üblichen Doppelkopfschienen sind für Elektrohängebahnen gewöhnlich zu leicht, da man hier, um die Wagenzahl zu verkleinern, fast durchweg größere Gefäße, also größere Nutzlasten wählt und die Wagen, besonders die mit Windwerk, an sich schon schwerer sind als die etwa bei Drahtseilbahnen gebräuchlichen. Man befestigt deshalb meistens Grubenschienen auf verhältnismäßig hohen I-Eisen und erhält so die sogenannte Oberflansch-Laufbahn. Sie gestattet dem Wagengehänge in den Kurven ein freies Auspendeln, der Schwungkraft folgend. Ihr Nachteil ist aber, daß das Gehänge für den Wagenkasten usw. gekröpft werden muß und infolge der ziemlich ungünstigen Biegungsbeanspruchung entsprechend schwer ausfällt. Ferner sind die Schienenträger einseitig festzuhalten, wodurch das ganze Tragwerk exzentrisch belastet wird.

In manchen Fällen sind aus diesen Gründen die Unterflansch-Laufbahnen vorteilhafter, bei denen die Wagenräder auf beiden Seiten des unteren I-Trägerflansches laufen. Sowohl die Fahrbahn als auch der Hubwerkrahmen des Wagens wird zentrisch aufgehängt, und der Anschluß an die Aufhängekonstruktion macht sich sehr einfach. Außerdem brauchen die Wagen ein wesentlich kleineres Durchfahrtprofil. Natürlich ist die Oberflanschlaufbahn überall dort notwendig, wo die Elektrohängebahn mit einer Verteilbrücke oder dergl. zusammenarbeitet, auf die die Wagen mittels Schleppweichen übergehen.

Die in den Drahtseilbahnstationen fast allgemein gebräuchliche Kletterweiche wird bei Elektrohängebahnen möglichst wenig angewendet, weil das Auffahren des Wagens auf die geneigte Auflaufzunge eine erhöhte Anstrengung des Motors bedingt. Sie ist nicht zu umgehen, wenn sich senkrecht an die

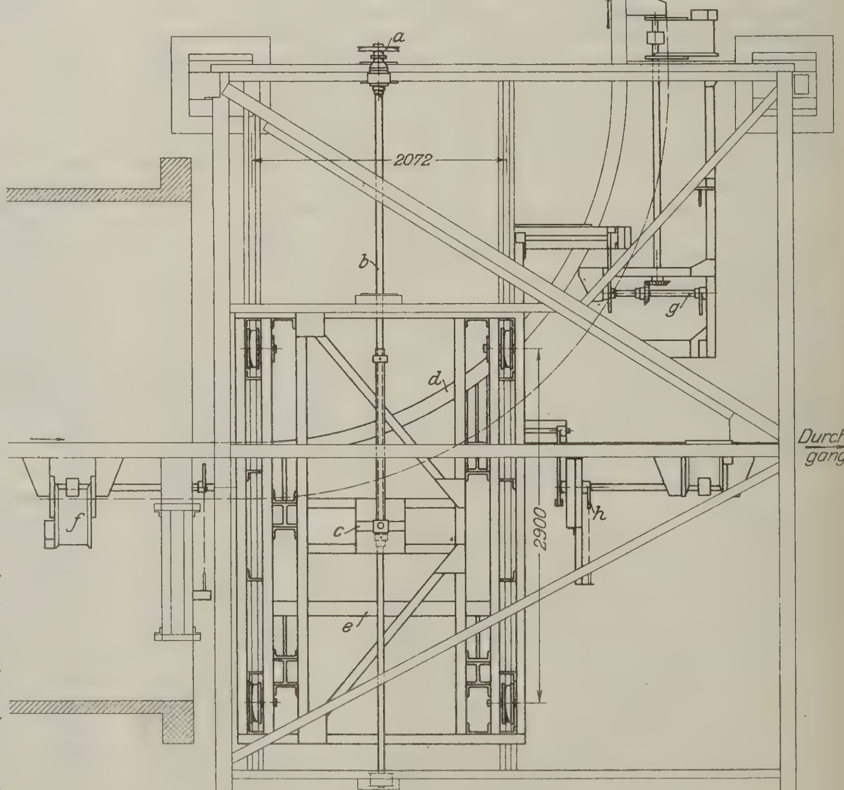


Abb. 3. Grundriß einer Schiebeweiche mit Fahrbahnverriegelung.

a Handkettenrad
b Hauptwelle mit Bewegungsschranke
c Verschiebemutter am Weichenwagen
d Krummes Weichenstück
e Gerades Weichenstück
f Selbsttätige Verriegelung des Hauptgleises
g " " " Abzweiges
h " " " Durchganges

Hauptschleife eine fahrbare Abzweigbrücke zur Bedienung eines Stapelplatzes anschließt. Ihr Halbmesser beträgt gewöhnlich 2,5 bis 3 m. Während die eigentliche Schienenzunge aus Stahlguß ist, wird für die am stärksten beanspruchte Auflaufzunge Siemens-Martin-Stahl genommen. Diese Weiche bleibt meist dauernd in der Abzweigstellung liegen; demgemäß wird die Zunge ausgebildet. Wenn sie nur einen Seitenflansch hat und der Drehbolzen entsprechend angeordnet ist, kann aber auch der Weg der Wagen über die Abzweigung nach Belieben wegfallen.

Abb. 4 und 5. Fernsteuer-Laufkatze mit Windwerk für 1250 kg Tragkraft.

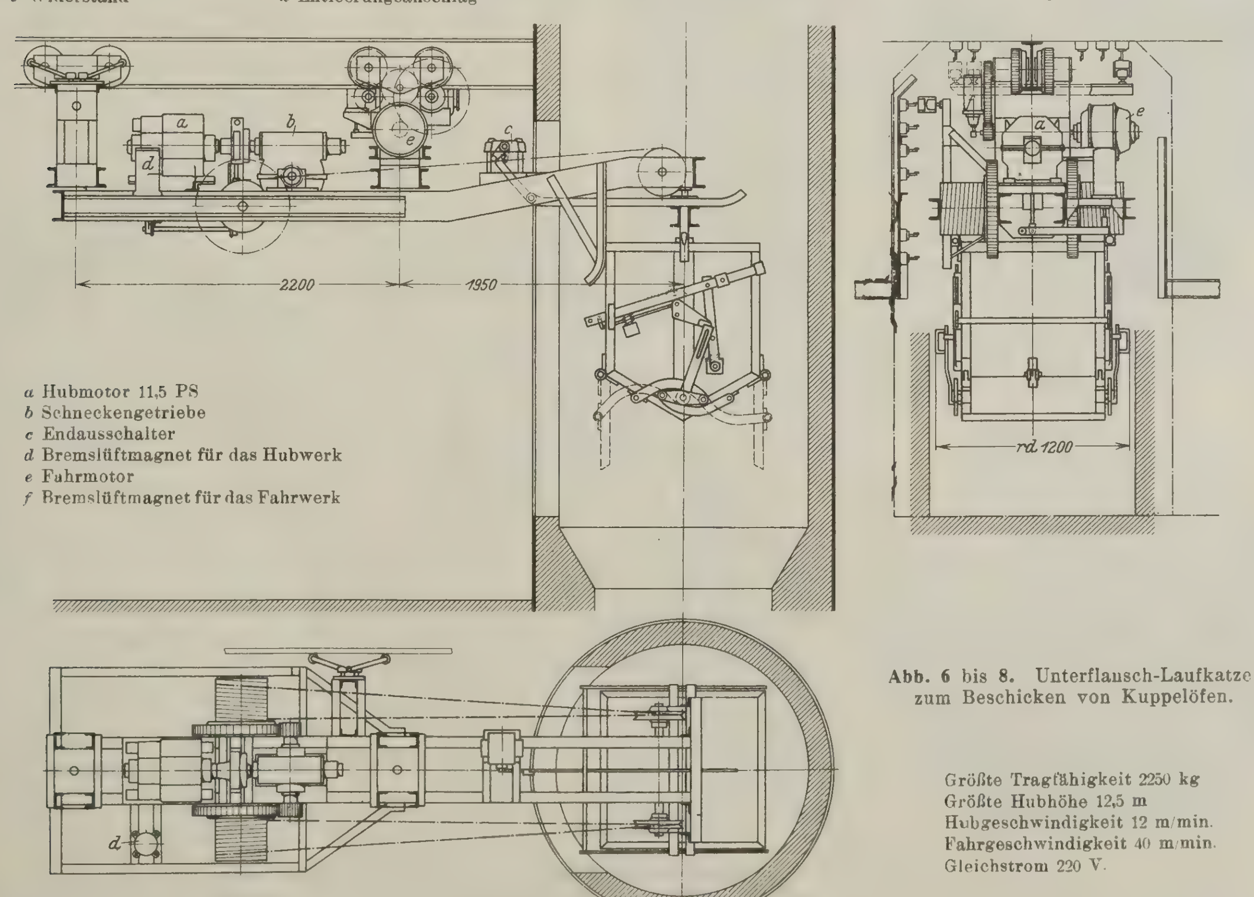
a Stromzuleitungen
b Fahrmotor 1 PS
c Fernsteuerschalter
d Hubendausschalter
e Widerstand
f Hub-Bremslüftmagnet
g Hubmotor 5 PS max.
h Stromabnehmer
i Fahr-Bremslüftmagnet
k Entleerungsanschlag

Eine bewegliche Schleppweiche für Unterflansch-Laufbahnen zeigt Abb. 1 und 2 nach einer Ausführung von Kaiser & Co. Hierbei ist die Spitze um einen Zapfen drehbar, und der Zungenkopf wird auf einem kurzen, entsprechend gekrümmten Quergleis, auf dem ihn zwei Tragrollen mit Kugellagerung abstützen, seitlich durch einen Kettenzug verschoben, dessen eine Umführungsrolle in Abb. 2 gezeichnet ist. Die durch Holzfutter in richtiger Höhe gehaltenen L-Querträger tragen die Isolatoren für die Stromzuführung usw. Die elektrische Blockung der Anlage wird so ausgeführt, daß eine nicht geschlossene oder nicht ordnungsmäßig verriegelte Weiche auch nicht befahren werden kann.

Eine ganz andere Form ist die Schiebeweiche, die von Hand oder auch mit Hilfe eines kleinen Elektromotors von etwa ²/₃ kW Leistung bewegt wird. Sie bietet allerdings den Nachteil, in der Herstellung sehr teuer zu werden und auch verhältnismäßig umständlich zu arbeiten. Die ihr von Kaiser & Co. gegebene Form für Handbetrieb zeigt Abb. 3. Beide Stränge sind an der Abzweigstelle unterbrochen, und die zugehörigen Verbindungsstücke befinden sich auf einem niedrigen vierrädrigen Wagen, welcher vermittels eines Kettenzuges durch eine Bewegungsschraube verschoben wird. Hinzu treten die mit der Verschiebung selbsttätig verbundenen Verriegelungen, die die Zeichnung darstellt. Für eine häufigere Umstellung sind hiernach Schiebeweichen wenig geeignet.

Die Gesellschaft für Förderanlagen Ernst Heckel baut gleichfalls für Unterflansch-Laufbahnen eine Drehweiche, bei der der Abzweig bzw. das gerade Stück mit den zugehörigen Leitungen durch eine Halbdrehung des ganzen Apparates um eine wagerechte Achse eingelegt wird. Mit der Drehung wird gleichzeitig die mechanische Verriegelung der betreffenden Stränge ausgeführt oder aufgehoben.

Aus diesen verschiedenartigen Lösungen geht schon hervor, daß die Ausgestaltung der Weiche von wesentlicher Bedeutung für den Betrieb der ganzen Anlage ist. Kaiser & Co. haben deshalb in letzter Zeit bei Elektrohängebahn-Laufkatzen mit Führerbegleitung auf die bekannte Ottosche Hängebahnweiche zurückgegriffen, die überhaupt keine Verstellung erfordert, und sie für Unterflansch-Laufwerke durchgebildet. Die Weiche be-



a Hubmotor 11,5 PS
b Schneckengetriebe
c Endausschalter
d Bremslüftmagnet für das Hubwerk
e Fahrmotor
f Bremslüftmagnet für das Fahrwerk

Abb. 6 bis 8. Unterflansch-Laufkatze zum Beschicken von Kuppelöfen.

Größte Tragfähigkeit 2250 kg
Größte Hubhöhe 12,5 m
Hubgeschwindigkeit 12 m/min.
Fahrgeschwindigkeit 40 m/min.
Gleichstrom 220 V.

steht aus einem Stahlgußstück, das an der Abzweigstelle mit drei Schrauben an den oberen Flanschen der I-Laufbahnen befestigt ist. Das Stück hat im unteren Teil zwei schmale Spalte für das Wagengehänge bei Fahrt auf der durchgehenden bzw. abzweigenden Strecke und im Mittelflansch eine Aussparung für den Durchtritt der äußeren Wagenräder. Vom Führerstand aus wird mit Hilfe eines eigenartig angeordneten Kettenzuges eine kleine Führungsrolle gehoben, wenn der Wagen in die Abzweigung laufen soll; sie stößt dann gegen eine unten an dem Weichenstück angebrachte Rippe, und der Wagen wird so abgelenkt.

Die Wagen.

Der deutsche Elektrohängebahnbau hat sich aus dem Drahtseilbahnbau entwickelt, was auch die Wagenkonstruktion für die einfache Förderung von Massengut deutlich erkennen läßt. Die Form, die ihr die Firma A. Bleichert & Co. gegeben hat. ist ja allgemein bekannt, so daß davon abgesehen werden kann, eine Zeichnung beizubringen. Der Antriebmotor leistet meist ½ PS bei 600 Uml./min. Wesentlich zur allgemeinen Einführung der Elektrohängebahnen hat die Ausrüstung der Wagen mit einem elektrischen Hubwerk beigetragen, das von beliebiger Stelle aus gesteuert wird.

Einen solchen Elektrohängebahnwagen mit Fernsteuerung geben Abb. 4 und 5 nach einer Zeichnung der Allgemeinen Transportanlagen-Gesellschaft wieder. Man bemerkt, daß die Winde mit der Schaltung einen nicht unbeträchtlichen Platz einnimmt, so daß ein ziemlich großer Raum für die freie Durchfahrt nötig wird. Im übrigen ergeben sich alle Einzelheiten unmittelbar aus den Abbildungen. Die größte zulässige Nutzlast beträgt 1,25 t.

Einen Wagen für 2,25 t Nutzlast bei äußerst beschränktem Durchgangprofil zeigen Abb. 6 bis 8 nach einer Konstruktion von Kaiser & Co. Der Wagen gehört zu einer Kuppelofenbegichtanlage und bestreicht mit Hilfe einer verfahrbaren Brücke das ganze Lager. Er läuft auf den Unterflanschen einer I-Schiene mit zwei Fahrgestellen; der Antrieb des Hubwerkes ist so weit zurückgelegt, daß er das Gewicht des Kübels zum guten Teil ausgleicht. Bei größeren Lasten erhalten die Elektrowindenkübel stets Bodenentleerung, um größere Auspendelungen zu vermeiden, die beim Auskippen immer auftreten.

Der Betrieb der Anlage ändert sich gar nicht, wenn statt des Kübels ein Selbstgreifer angehängt wird. In Frage kommt naturgemäß nur ein Einseilgreifer, wenn auch oft zum guten Ausgleich aller Gewichte zwei nebeneinander laufende Seile genommen werden. Die Kupplung des Greifers muß bei der Entleerung im allgemeinen durch Anstoßen an einen Anschlag geöffnet werden, wozu immer eine nicht unbedeutende Kraft nötig ist, da das ganze Greifer- und Lastgewicht an der Kupplung hängt. Um die daraus entstehenden Stöße usw. zu verhüten, verwendet die Gesellschaft für Förderanlagen Ernst Heckel ein hydraulisches Gesperre.

Am unteren Querhaupt sind zwei Bremszylinder angebracht, deren Kolbenstangen mit dem unteren Rollengestell des Greifers fest verbunden sind. Sie steuern die Schaufelstellung in folgender Weise. Beide Zylinderseiten stehen durch Rohrleitungen in Verbindung, in die ein Hahn eingebaut ist. In der tiefsten Lage der Kolben ist der Hahn geschlossen, so daß das Öl in den Zylindern den Rollenkopf fest mit dem Querhaupt kuppelt. An der Entleerungsstelle wird die Hahn entweder durch Anschlag oder elektromagnetisch geöffnet und das Querhaupt sinkt herunter, so daß sich die Schaufeln öffnen. Der Hahn schließt sich selbsttätig beim Heruntersenken des Greifers auf das aufzunehmende Fördergut. Bei der elektromagnetischen Einstellung

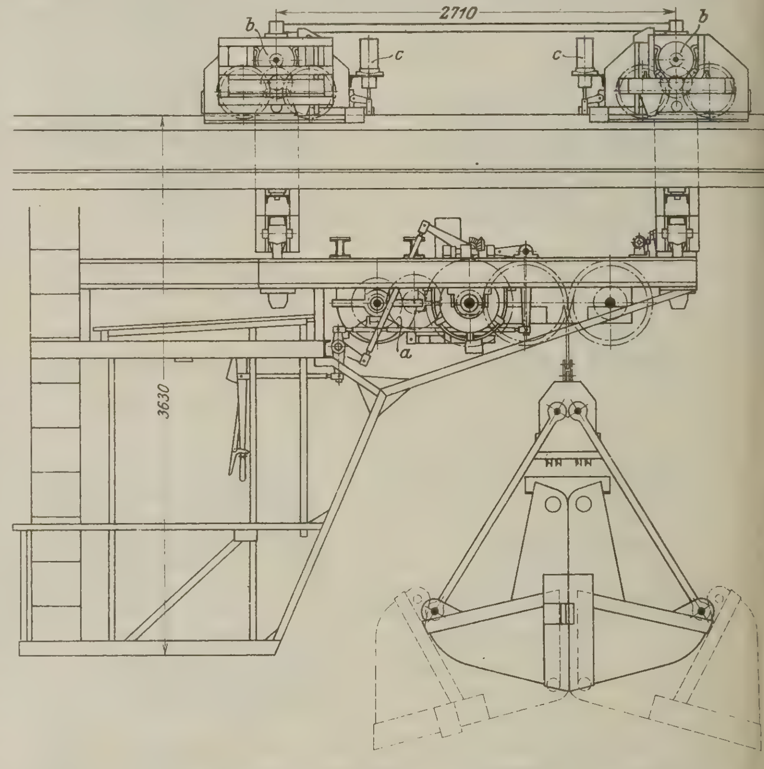


Abb. 9. Oberflansch-Greiferlaufkatze von 2300 kg Tragkraft mit Führerstand.

a Hubmotor 22,9 PS *b* Fahrmotor 3,4 PS *c* Fahrwerk-Bremslüftmagnet

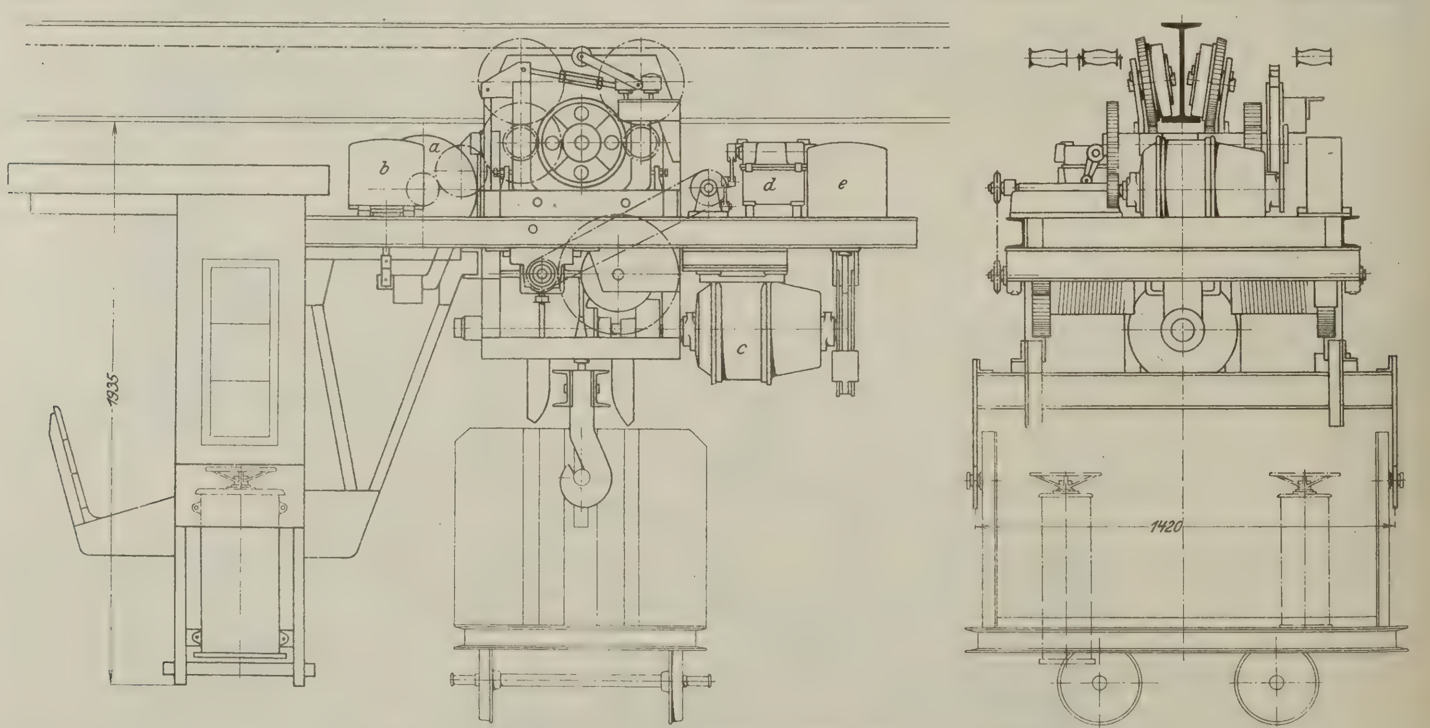


Abb. 10 und 11. Unterflansch-Laufkatze mit Führersitz und Windwerk.

a Fahrmotor *b* Drehstrom-Bremslüftmagnet für 60 cmkg *c* Hubmotor *d* Zweipoliger Endausschalter *e* Drehstrom-Bremslüftmagnet für 100 cmkg

kann der Magnet mit dem Hahn so zusammengebaut werden, daß die Entleerung leicht in jeder beliebigen Höhe stattfindet und damit ungefähr die gleiche Wirkung wie mit einem Zweiseilgreifer erzielt wird.

Die Fernsteuerung mit Bedienung durch einen Mann, dessen Kabine so angeordnet ist, daß man von dort mindestens den wichtigeren Teil der Arbeit, das Aufnehmen des Fördergutes, übersehen kann, hat sich in einer großen Zahl von Ausführungen gut bewährt. Handelt es sich aber nicht um die Aufnahme an einer ganz bestimmten Stelle, sondern wechseln Be- und Entladeort auf der Bahn häufiger und in beliebiger Folge, so muß der Bedienungsmann seinen Platz auf der Laufkatze selbst haben, da nur ausnahmsweise einmal das ganze Arbeitsfeld von der Steuerstelle aus völlig zu übersehen ist. Man ist so auf einem Umweg über die fast ganz selbsttätige Arbeit wieder auf das alte System zurückgekommen, das die ersten englischen und amerikanischen Ausführungen allerdings in ganz anderer Form zeigten.

Als Greifer kann dann auch der Zweiseilgreifer verwendet werden, und eine solche Anordnung gibt Abb. 9 nach einer Zeichnung von Kaiser & Co. wieder. Die Nutzlast, die der Greifer aufnimmt, kann bis zu 2,3 t betragen.

Einen Elektrowindenwagen für Unterflansch-Laufbahnen und Nutzlasten bis 1,2 t in Förderwagen von 0,3 t Eigengewicht zeigen Abb. 10 und 11, ebenfalls nach einer Ausführung von Kaiser & Co. Die Hubgeschwindigkeit beträgt ¼ m/s, die Fahrgeschwindigkeit 2 m/s, so daß dafür ein entsprechend großer Motor von 2,5 kW Leistung vorgesehen wurde, während der Hubmotor 5,5 kW leistet. Der Zusammenbau des Wagens ist trotz der Größe der Einzelteile doch recht gedrängt.

Man erkennt aus den gegebenen Beispielen, daß neuzeitliche Ausführungen oft verhältnismäßig große Nutzlasten mit entsprechend schweren Motoren bewegen, die noch vor einigen Jahren als weit über den Bereich der Elektrohängebahnen hinausgehend angesehen wurden. Es ist eben in den meisten Fällen vorteilhaft, mit möglichst wenig Wagen zu arbeiten. [A 1920]

Gußeiserne Rauchgas-Vorwärmer für niedrigen und hohen Druck.

Mitgeteilt von der Firma L. & C. Steinmüller, Gummersbach.

Wiederholte Druckversuche mit darauffolgenden Kaltwasser-Druckproben an zwei Versuchskörpern aus Perlitguß haben gezeigt daß der Innendruck bis auf 140 at gesteigert werden konnte.

Gußeiserne Ekonomiser haben bekanntlich gegenüber schmiedeeisernen den Vorteil, daß sie durch den Sauerstoff des Speisewassers sozusagen überhaupt nicht angegriffen werden und dem Angriff von schwefliger Säure einen weit größeren Widerstand entgegensetzen. Für Betriebe, die nicht einwandfreies Kesselspeisewassers haben, kommen infolgedessen aus Gründen der Betriebsicherheit nur gußeiserne Ekonomiser in Betracht.

Für den oberen und unteren Verteilkasten war perlitisches Gußeisen (Perlitguß) verwendet, ein Baustoff, dessen Festigkeit, Zähigkeit, gleichmäßige Gefügebeschaffenheit und Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Schlagwirkungen dem Gußstahl nahe kommen[1]), s. Zahlentafel 1:

Zahlentafel 1.

	Biegefestigkeit kg/mm²	Durchbiegung mm	Zugfestigkeit kg/mm²	Kugeldruckhärte nach Brinell	Dauerschlagprobe Anzahl d. Schläge bis zum Bruch
Grauguß	28	10	14	130	5
Perlitguß	51	17	28	164	72

Aus der Zusammenstellung ist zu ersehen, daß die Zugfestigkeit das Doppelte von der bei gewöhnlichem Grauguß erreicht und die Dauerschlagproben ein Vielfaches von denen bei Grauguß ergeben. Besonders die letztere Eigenschaft eröffnet dem Perlitguß als Baustoff für Vorwärmer günstige Möglichkeiten, da er die im Betrieb auftretenden Wasserschläge, worauf manche Schädigungen der Ekonomiser zurückzuführen sind, infolge seiner Widerstandsfähigkeit gegen Stöße gut verträgt. Diese Eigenschaft wird durch den Gefügebau bedingt.

[1]) s. Mitt. Material-Prüfungsamt zu Berlin-Dahlem Jahrgang 1922 6. Heft „Die Gießerei" Bd. 10 Heft 46.

Eutektoider Stahl mit 0,9 vH C hat unter normaler Abkühlung reines perlitisches Gefüge. Perlit besteht aus nebeneinander gelagerten Schichten von Zementit und Ferrit und zeichnet sich durch Festigkeit und Zähigkeit aus. Da der Kohlenstoffgehalt beim normalen Gußeisen jedoch höher (bis 4,2 vH) liegt, so tritt der Kohlenstoff in der Form von Graphitnestern auf. Die dadurch verursachten Nachteile im Gefüge werden noch durch die nur unvollständig ausgereifte Gefügebildung verstärkt.

Beim Perliteisen bemißt man den Gehalt an Kohlenstoff und der andern Fremdkörper möglichst gering und erhält dann durch entsprechendes Form- und Gießverfahren ein fast rein perlitisches Gefüge, das nur durch gleichmäßig verteilte Graphitplättchen unterbrochen wird. Dieses Gußeisen hat dann ähnliche Festigkeitseigenschaften wie der perlitische Stahl, abgesehen von der Wirkung des eingelagerten Graphits.

Abb. 1 zeigt im geätzten Schliff die Verteilung des Graphits im gewöhnlichen Grauguß, Abb. 2 die Verteilung des Graphits im Perlit-

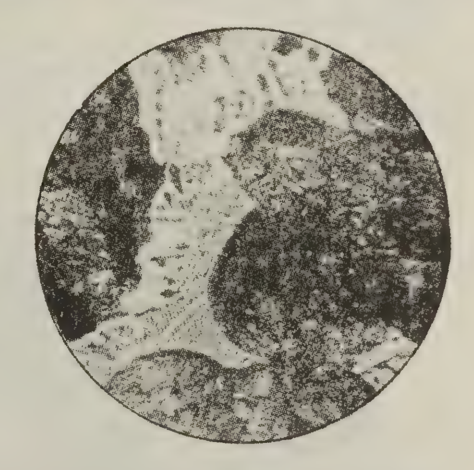


Abb. 3. Gefügebild von gewöhnlichem Grauguß, 500 mal vergrößert.

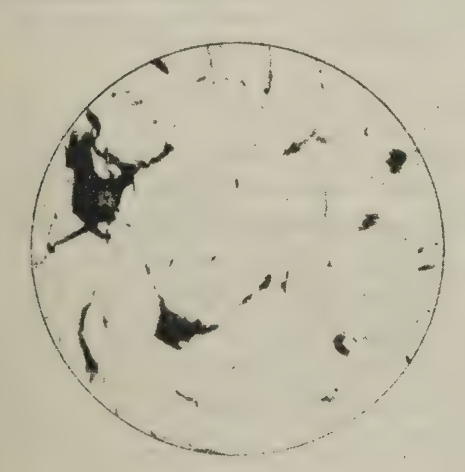


Abb. 1. Verteilung des Graphits im gewöhnlichen Grauguß, 50 mal vergrößert.

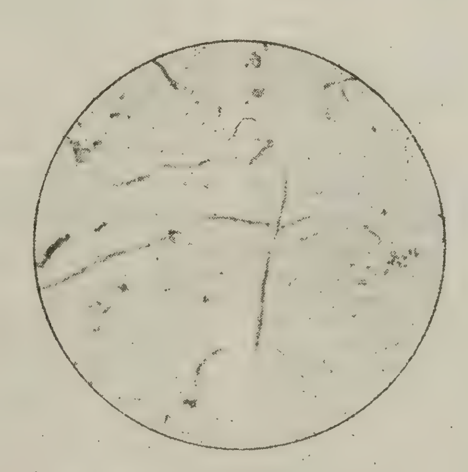


Abb. 2. Verteilung des Graphits im Perlitguß, 50 mal vergrößert.



Abb. 4. Gefügebild von Perlitguß, 500 mal vergrößert.

guß. Abb. 3 zeigt das Gefügebild von gewöhnlichem Grauguß und Abb. 4 das Gefügebild von Perlitguß.

Deutlich tritt der Unterschied in der Verteilung in die Erscheinung, und außerdem erkennt man den Gehalt an Graphit im Perlit gegenüber dem Grauguß.

Die für die Versuche gewählten Probekörper, deren Wandstärken und bauliche Einzelheiten den üblichen Vorwärmerteilen aus Grauguß entsprechen, sind in Abb. 5 und 6 dargestellt. Der erste Versuchskörper besteht aus 8 Rohren und je einem oberen und unteren Verteilkasten; die Verteilkasten werden zur Entnahme von Stichmaßen und Beobachtung der Durchbiegung mit Längsrißmarken, die Rohre im Abstand von 135 mm von den Enden der zylindrischen Stücke mit Körnermarken versehen, Abb. 7; dadurch konnte man ermitteln, wie weit jedes Rohrende beim Abpressen des Versuchskörpers in die betreffende Kegelöffnung des Verteilkastens eindrang. Auch dienten diese Körnermarken dazu, um die Länge der Sitzfläche ihrer Kegel zu messen. Die Kegelöffnungen der Verteilkästen wurde mittels Lehrdornes kontrolliert.

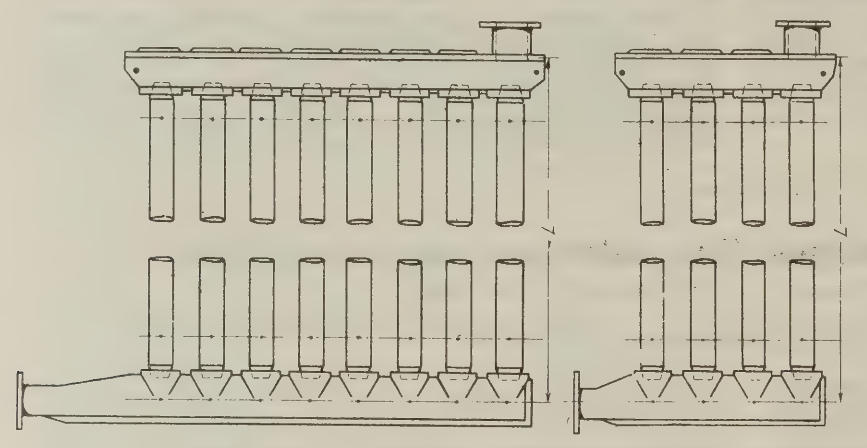


Abb. 5 und 6. Vorwärmer-Probekörper aus Grauguß.

Beim ersten Versuch wurde der Probekörper in drei Stufen auf einer hydraulischen Presse derart zusammengedrückt, daß sich die Länge L des Probekörpers von $L + 22$ über $L + 10$ bis auf $L - 5$ mm verminderte (L = normales Längenstichmaß); dabei zeigten sich keine Beschädigungen. Der Körper wurde unmittelbar darauf der ersten Kaltwasserdruckprobe ausgesetzt und bei 43 at wurde der obere Kasten von den Rohrenden abgehoben, Abb. 8.

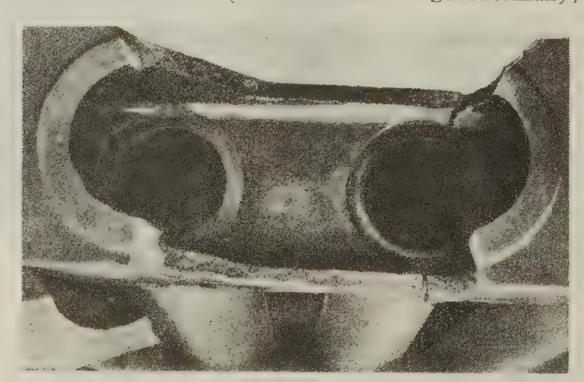


Abb. 9. Bei 83 at zerstörter oberer Kasten.

Obwohl sich der Kasten im zweiten Drittel seiner Länge bis um 5 mm abgebogen hatte, war er wegen der Zähigkeit des Materials nirgends beschädigt. Er wurde darauf zum zweiten Mal bis auf $L - 14$ mm zusammengepreßt, erlitt aber auch hierbei keine Schäden. Bei der folgenden zweiten Kaltwasserdruckprobe wurde der Druck nacheinander auf 40, 50, 80 und 83 at gesteigert. Zwischen den einzelnen Druckstufen wurden kleine Pausen eingeschaltet, während deren der Druck wegen der Undichtheiten der Pumpe und der Druckzuleitung um 10 bis 30 at zurückging. Bei 83 at sprang aus dem oberen Kasten ein größeres Stück aus, Abb. 9.

Während der Materialprüfung an Stücken des gebrochenen Verteilkastens erfolgte der erste Druckversuch am zweiten Versuchskörper, Abb. 6, der von $L + 9$ über $L \pm 0$ und $L - 6$ bis auf $L - 10$ mm zusammengedrückt wurde. Bei der darauf folgenden ersten Wasserdruckprobe, wobei der Druck wie beim ersten Probekörper mit Pausen bis auf 75 at gesteigert wurde, zogen sich die Rohrenden teilweise aus den Kegelöffnungen der Kästen heraus.

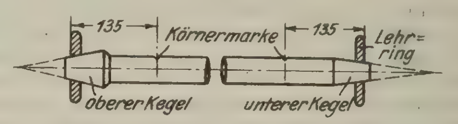


Abb. 7. Vorwärmerrohr mit Körnermarken.

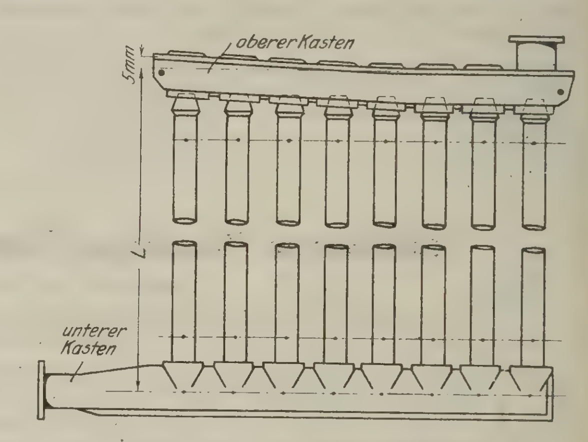


Abb. 8. Abheben des oberen Kastens bei 43 at Probedruck.

Der zweite Druckversuch wurde dann von $L + 2$ über $L - 10$ bis auf $L - 15$ mm fortgesetzt. Bei der zweiten Kaltwasserdruckprobe wurde der Druck nacheinander auf 60, 78 und 80 at gesteigert, wobei sich nur die Rohrverbindungen mit den Kammern lösten. Der Probekörper wurde daher zum dritten Mal bis auf $L - 15$ mm zusammengezogen. Die dritte Druckprobe erfolgte acht Tage später bei 0 °C Raumtemperatur und 72 at Höchstdruck, wobei der obere Kasten von den Rohren abgehoben wurde, aber auch jetzt keine Beschädigung auftrat; der Körper wurde dann zum vierten Mal unter mehrmaligem Absetzen der Presse auf $L - 25$ mm zusammengezogen und daraufhin einer Kaltwasserdruckprobe mit folgendem Druckverlauf unterworfen: 95, 70, 95, 0, 78, 60, 105, 65, 108, 0, 102 at; bei 102 at platzte eine Flanschenverbindung in der Leitung zwischen Pumpe und Einlaßventil, so daß der Druck plötzlich auf 0 at zurückging. Nachdem die Verbindung wieder instand gesetzt war, wurde der Druck bis auf 112 at gesteigert, bei diesem Druck hob sich der obere Kasten gleichmäßig ab, ohne daß Kasten oder Rohre Beschädigung erlitten. Es folgte nun der fünfte Druckversuch bis auf $L - 30$ mm Länge. Bei der darauf folgenden Wasserdruckprobe mit 60, 108, 0 und 118 at wurde die Stopfbüchse der Pumpe undicht. Nach Neuverpacken der Stopfbüchse wurde der Druck auf 112 at gesteigert; die Pumpe wurde jedoch wieder undicht, da das Dichtungsmaterial nicht standhielt. Schließlich konnte der Druck bis auf 140 at gesteigert werden, wobei erst ein Riß im oberen Verteilkasten eintrat.

Das Ergebnis der Untersuchungen an den Bruchstücken des ersten Versuchskörpers und an Probestäben aus dem Guß für den zweiten Versuchskörper ist aus nachstehender Zahlentafel 2 ersichtlich:

Zahlentafel 2. Vergleichende Versuche mit Gußeisen und Perlit.

	Zugfestigkeit		Härte nach Brinell		Biegefestigk[illegible] nach Kircheis, Auf[illegible]ge 200 mm	
	kg/mm²	kg/mm²			kg/mm²	kg/mm²
G 1	13,4		150		34,5	
G 2	13,6	13,6	139	147,3	32,5	35
G 3	14,1		143		38	
P 1	23,3		173		54,8	
P 2	23,7	23,8	168	168	58	57,6
P 3	24,4		163		60	

G 1 bis G 3 Gußeisen-, P 1 bis P 3 Perlitstäbe [A 147]

RUNDSCHAU.

Technische Physik.

Aus der Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1923[1]).

Arbeiten der Abteilung I für Maß und Gewicht.

Das Meter-Urmaß des Deutschen Reiches, das sich seit zwei Jahren zum Vergleich mit dem internationalen Urmaß im Internationalen Bureau in Paris befand, ist Anfang Oktober nach Berlin zurückgebracht worden. Seine Länge bei 0 ° beträgt nach den Vergleichsmessungen 1 m — 1,53 μ (1 μ = 0,001 mm). Es werden nunmehr die Urmaßkopien von 1 m Länge, ein neu beschaffter Stahlstab ersten Ranges, dessen Teilung auf 20 ° justiert ist und ein neues Bandmaßnormal von 30 m neu ausgemessen. Ferner soll das Urmaß an die Wellenlänge der roten Kadmiumlinie 643,8 m μ angeschlossen werden. Damit würde der lange gehegte Plan, die Länge des Meters in Lichtwellenlängen, also in einer unveränderlichen Naturgröße auszudrücken, ausgeführt werden. Die sämtlichen zu Prüfungen eingesandten parallelen Endmaße ersten Ranges werden jetzt schon in Wellenlängen ausgewertet. Diese Prüfung ist einfacher, zuverlässiger und genauer als die Bestimmung über Stahlnormalien. Ebenso wird die Wärmeausdehnung von Endmaßen nach dem Lichtwellenverfahren gemessen. Die bisher beobachteten Ausdehnungszahlen betragen $11{,}3 \cdot 10^{-6}$ bis $13{,}7 \cdot 10^{-6}$.

Auf dem Gebiete der Wägeeinrichtungen hat im laufenden Jahre die Einführung der Neigungswage große Fortschritte gemacht. Vier Anordnungen stehen vor der endgültigen Genehmigung, sechs weitere werden geprüft. Ferner wurden u. a. vier Anordnungen selbsttätiger Balkenwagen und eine Laufgewichtwage mit mechanischer Bedienung erprobt.

Die zu prüfenden Aräometer werden im allgemeinen an die Eichämter abgegeben. In der Reichsanstalt werden nur noch solche Instrumente geprüft, die eine Genauigkeit von 0,01 vH erfordern.

In Fortsetzung früherer Versuche wurde ein Strömungsmesser mit Schweberohr daraufhin untersucht, ob seine Anzeigen der Hubhöhe des Schweberohres proportional sind, was sich bei dem Versuchsapparat bestätigte. Solche Strömungsmesser in Verbindung mit einem Zählwerk sind vielleicht geeignet, bei der Messung großer Gasmengen die Großgasmesser üblicher Art zu ersetzen, wonach bei deren unbequemer Größe und Kostspieligkeit ein dringendes Bedürfnis besteht. Auch Versuche mit einem neuen Strömungsmesser, der den täglichen Wasserverbrauch in Wohnhäusern aufzeichnet, wurden fortgesetzt. Bezüglich der Dosiermaschinen (das sind in Packetiermaschinen eingebaute Meßmaschinen, die bei der Herstellung verkaufsfähiger Packungen bestimmte Gewichtsmengen abteilen) ist eine Denkschrift ausgearbeitet, worin der Reichsregierung eine vorläufige Regelung vorgeschlagen wird.

Arbeiten der Abteilung II für Elektrizität und Magnetismus.

Die astatischen Nadelgalvanometer haben im allgemeinen noch ein kleines, nicht ausgeglichenes magnetisches Moment, das die Störungsfreiheit des Systems verringert. Die Galvanometer sind durch Hilfsmagnete unter Benutzung des neuen von der Reichsanstalt (Prof. Gumlich) gemeinsam mit der Firma Krupp ausgebildeten Magnetmaterials verbessert worden.

Die von der Industrie angeregten Untersuchungen über die physikalischen, chemischen und elektrischen Verhältnisse in den Quecksilberdampf-Gleichrichtern wurden fortgesetzt. Da die in Großgleichrichtern kaum vermeidbaren Fremdgase die Gleichrichterwirkung stark beeinflussen, wurde das Verhalten des Quecksilber-Lichtbogens bei Zusatz von Kohlensäure, Ammoniak, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und schwefliger Säure untersucht. Das Verhalten des Gleichrichters beim Versuch, Strom in der undurchlässigen Richtung hindurchzuschicken, ist für den Betrieb sehr wichtig, weil darauf die Rückzündung, das ist der Umschlag der Glimmentladung in einen kurzschlußartigen Lichtbogen, beruht. Daher wurde zunächst die Glimmentladung planmäßig untersucht.

An einer größeren Anzahl kreiszylindrischer Einkristallstäbchen aus reinstem Zink und Kadmium wurden die elastischen Konstanten berechnet. Hiernach kann man die Schallgeschwindigkeit longitudinaler und transversaler Wellen für verschiedene Richtungen im Kristall berechnen und die Debye-Bornsche Theorie der spez. Wärme prüfen. Ferner wurde die Wärmeausdehnung, das elektrische Leitvermögen und die Erholung nach bleibender Formänderung untersucht. Endlich ist noch die Änderung des Elastizitätsmoduls bei starker Abkühlung gemessen worden. Dieser nahm bei einer Abkühlung um 100 ° bei Zink um etwa 5 vH, bei Kadmium um etwa 8 vH, bei Aluminium um 5,6 vH, bei Wolfram um 0,5 vH zu. — Die Untersuchungen über das Verhalten der Kadmium-Amalgame wurden abgeschlossen. Damit ist die langjährige Streitfrage über die angebliche Unbrauchbarkeit der Westonschen Normalelemente erledigt. Mit Rücksicht auf die Vergleichung der absoluten elektrischen Widerstandseinheit im National Physical Laboratory und in der Reichsanstalt wurden drei Selbstinduktionsnormale auf ihre Beständigkeit geprüft und bis auf wenige Hunderttausendstel unverändert gefunden.

[1]) Auszug aus dem Bericht in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde" Bd. 44 (1924) S. 73.

Die neue Wellenlängenskala für elektrische Schwingungen ist jetzt im Bereich von etwa 1000 bis 190 000 m Wellenlänge, entsprechend Schwingungszahlen von 300 000 bis 1593. mit einer Genauigkeit der absoluten Werte von 0,01 bis 0,02 vH festgelegt und kann nach den sich über zwei Jahre erstreckenden Kontrollmessungen bis zu dieser Genauigkeitsgrenze auch als zeitlich unverändert angesehen werden. Die neue Wellenlängenskala der Reichsanstalt soll mit der Skala andrer Staatsinstitute durch gleichzeitige Fernmessung der Wellenlänge transatlantischer Stationen verglichen werden. Die Messungen sind jetzt auch auf Wellen unter 1000 m Wellenlänge ausgedehnt worden. Es scheint aber einstweilen fraglich. ob die gleiche Genauigkeit wie bei den längeren Wellen zu erreichen ist. Um am Empfänger die Frequenz der von außen aufgenommenen Schwingungen zu messen, wurde ein neues Verfahren ausgebildet, nach dem dann die Betriebswellenlängen einer Anzahl europäischer und amerikanischer Sendestellen bestimmt wurden.

Dauermagnete für Bremszwecke finden beim Bau elektrischer Apparate vielfach Verwendung. Die Messung ihrer Bremskräfte ist besonders mit Rücksicht auf die Verwendung bei Elektrizitätszählern wichtig. Die bisherigen Verfahren befriedigen nicht, sie gestatteten lediglich einen relativen Vergleich der Bremskräfte und sind mit erheblichen Fehlern behaftet. Es ist daher ein Apparat gebaut worden, bei dem die Bremskraft bei 1500 Uml./min stroboskopisch gemessen und dann auf die bei Zählern übliche Geschwindigkeit umgerechnet wird. Auch die Änderung der Bremskraft bei Wechsel des Materials für die Bremsscheibe läßt sich dabei aus dem Verhältnis der spezifischen Widerstände der Bremsscheiben berechnen.

Nach den Prüfvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker soll die mittlere Übertemperatur einer Wicklung aus der Messung des Widerstandes im kalten und warmen Zustand ermittelt werden. Dieses Verfahren ist bei kleinen elektrischen Apparaten für Wechselstrom ganz unzuverlässig, weil die geringe Masse der Spule sich beim Umschalten erheblich abkühlt. Daher wurde ein einfaches Temperaturmeßverfahren ausgebildet, ähnlich dem von W. Vogel in „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen" Bd. 18 (1920) S. 46 vorgeschlagenen. In einen zusammengefalteten Streifen Schreibmaschinendurchschlagpapier werden einige Körnchen gewisser Chemikalien gelegt und zwischen die Wicklungen geschoben. Beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur schmelzen die Chemikalien und tränken das Papier. Besonders eignen sich folgende Stoffe: Meta-Phenyldiamin (farblos) 105 °, Schwefel, rhombisch (gelb) 112 °, Schellack (orange) 115 °, Pyrogallol (farblos) 133 °, Dinitroanilin (gelb) 170 °. Die als farblos bezeichneten Stoffe färben das Papier schwarz.

Die Strommeßwiderstände aus Manganinrohr für Ströme von 100 bis 3000 A zeigen bei anhaltendem Gebrauch ein allmähliches Anwachsen des Widerstandes infolge mechanischen Angriffs des Rohres durch das hindurchströmende Wasser. Es wurden daher Widerstände aus bifilar gefaltetem Manganinblech hergestellt, die von zwei wassergekühlten, gleichzeitig als Stromzuführung dienenden Kupferschienen gekühlt werden, und zwar durch eine lackierte Seidenzeugschicht oder durch mit Isolierlack getränktes Papier hindurch, die zur elektrischen Isolation dienen. Das Wasser kommt bei dieser Anordnung mit dem Manganin nicht in Berührung. Die Widerstandänderung bei Belastung ist von der Größenordnung ½ vT. Zur bequemen Nachprüfung der wassergekühlten Rohrwiderstände wurde eine vereinfachte Doppelbrücke entworfen, deren Herstellung die Firma Hartmann & Braun übernommen hat.

Bei dem in der Reichsanstalt ausgebildeten Verfahren zum Prüfen von Spannungswandlern wird für Spannungen von 50 000 bis 80 000 V ein Spannungsteiler aus Manganindraht von 2,5 Megohm benutzt. Da dieses große Gerät schwer beweglich ist, hat die Reichsanstalt die Firma Siemens & Halske veranlaßt, ihren Spannungswandler für 50 000/110 V mit einer weiteren Sekundärwicklung für 5 V zu versehen, an die nun der Meßzweig der Prüfeinrichtung angeschlossen wird. Weiter wird über ein Verfahren berichtet, um mit dem Siemens-Blondell-Oszillographen die Kurvenform einer hohen Wechselspannung gegen Erde ohne merkliche zusätzliche Belastung des Transformators aufzunehmen. Bei verschiedenen Schaltungen zeigte sich, daß die Kurven auf der Unter- und Oberspannungsseite eines Transformators unter Umständen ganz verschieden waren, so daß aus der Unterspannungskurve Schlüsse auf die Oberspannungskurve nicht gezogen werden können. Nachdem dies erkannt worden war, gelang es, ein Verfahren auszubilden, um das Übersetzungsverhältnis von Hochspannungstransformatoren auch unter ungünstigen Verhältnissen genau zu messen.

Die in der Reichsanstalt ausgebildete Brückenmethode zur Messung des dielektrischen Verlustes sehr kurzer Kabelstücke ist auf Anregung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker nun auch für die Messung von ganzen Fabrikationsstücken von mehreren hundert Metern Länge umgebildet worden. In den Vorschriften dieses Verbandes über die Prüfung von Transformatorspulen ist vorgeschrieben, daß das Prüfgefäß nebst Elektroden mit Benzol ausgewaschen werden soll. Es wurde nachgewiesen, daß dabei eine Wasserhaut auf den Elektroden entsteht, die die Durchschlagspannung des Öles herabsetzt und auch bei völlig trockenen und reinen Ölen Vorentladungen hervorruft. Die Feuchtigkeitshaut saß sehr fest und war nur durch nachdrückliches Trocknen zu beseitigen. Dann aber wurde bei reinem

(5) eine Durchschlagfestigkeit von mehr als 400 000 V/cm gemessen. Die Untersuchung zeigt, mit welcher Vorsicht vorgegangen werden muß, wenn man die wirkliche Durchschlagfestigkeit als Materialkonstante eines Öles bestimmen will, und daß diese für die technische Verwendbarkeit von geringer Bedeutung ist. Die technische Durchschlagprobe kann lediglich dazu dienen, den Reinigungsgrad des Öles zu beurteilen. Die Prüfbestimmungen sollten daraufhin geändert werden.

Ein zur Messung der Dicke von Ölschichten in Lagern erfundener Apparat wurde mit Unterstützung von C. P. Goerz A.-G. zu einem technischen Gerät ausgebildet. — Bei der Bestimmung der Lagerverluste besteht die Schwierigkeit, daß die Luftreibung mit in das Meßergebnis eingeht. Verändert man jedoch durch Anwendung verschiedener Schmiermittel die Lagertemperatur, so kann die Trennung von Luft- und Lagerreibung durchgeführt werden. Aus der Kurve der bei jedem Schmiermittel im Dauerzustand sich ergebenden Übertemperatur in Abhängigkeit von der Leistung wird durch Extrapolation auf die zur Übertemperatur 0° gehörige Leistung geschlossen, die unmittelbar die Luftreibung ergibt. Nach dieser Vorarbeit kann nun auch der Einfluß der Eigenschaften der Öle auf die Lagerreibung in praktischen Fällen untersucht werden. Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen sind bei Mineralölen in weiten Grenzen der Drehzahl und der Zähigkeit die Lagerreibungsverluste der absoluten Zähigkeit der benutzten Öle unmittelbar proportional.

Zur Messung der Vibration, die eine Welle in einem Lager relativ zu ihm ausführt, ist eine elektromagnetische Vorrichtung ausprobiert worden. Mit dem Lager wird ein Eisenjoch starr verbunden, über das zwei Spulen geschoben sind; von diesen wird eine mit Gleichstrom beschickt, während in der andern ein Induktionsstrom entsteht, der im Oszillographen gemessen wird und ein Maß der Vibration gibt. Die Vorrichtung wird mit Wechselstrom bei ruhender Welle geeicht. Das Verfahren, Glimmlampen zur Schlüpfungsmessung zu benutzen, wurde allgemein für Drehzahlbestimmungen erweitert. Die verlustlose Messung ist besonders bei sehr kleinen Motoren von Vorteil.

An magnetischen Arbeiten sind besonders die Versuche zu erwähnen, ein Material mit besonders hoher Anfangspermeabilität zu gewinnen. Die zur Untersuchung notwendigen Proben lieferte zumeist die Firma Vakuumschmelze G. m. b. H., die mechanische Bearbeitung erfolgte mittels einer Hämmermaschine in der Technischen Hochschule, die Glühverfahren wurden in der Reichsanstalt durchgeführt. Durch geeignete mechanische und thermische Behandlung bestimmter Legierungen gelang es, Anfangspermeabilitäten von 4000 bis 5000 zu erzielen, also das 8- bis 10fache der Werte, die die besten bisher bekannten Materialien ergeben hatten.

Arbeiten der Abteilung III für Wärme und Druck.

Die Fortsetzung der Messung der Zustandsgrößen verschiedener Gase bis 400° hat u. a. gezeigt, daß die Anfangsneigung (bei $p = 0$) der Isothermen im pv, p-Diagramm, gegen die p-Achse bei zunehmender Temperatur zunächst bis zu einem Maximum zunimmt, dann aber wieder abnimmt, daß sich also die wirklichen Gase in bezug auf ihre Abweichung vom Boyleschen Gesetze bei hoher Temperatur dem vollkommenen Gaszustand nähern. Zur gasthermometrischen Bestimmung des Palladiumschmelzpunktes sind noch einige Verbesserungen am elektrischen Ofen und dem verwendeten Platin-Iridium-Gefäß erforderlich. Einstweilen konnte nur der Goldschmelzpunkt (zu 1063,8°) gemessen werden.

Die quadratische Gleichung für das Platin-Widerstandsthermometer von Callendar wurde unter 0° geprüft und erwies sich auch beim Quecksilberschmelzpunkt noch auf mindestens 0,01° richtig. Der Quecksilberschmelzpunkt wurde zu — 38,87° neu gemessen, der Siedepunkt des Wasserstoffes mit einer verbesserten Anordnung des Helium-Thermometers zu — 252,78°. Infolge der Wiederaufnahme der Besprechungen über die Festsetzung einer internationalen Temperaturskala wurde von neuem die Frage in Angriff genommen, wie der Widerstand des reinen Platins zwischen den gewählten Fixpunkten, nämlich dem Schmelzpunkt des Quecksilbers, dem Sublimationspunkt der Kohlensäure und dem Siedepunkt des Sauerstoffes zu interpolieren ist. Es zeigte sich, daß im Gebiet von 0 bis — 193° zwischen dem Widerstand R_t eines Platinthermometers und der Temperatur t die Beziehung $R_t = R_0 (1 + at + bt^3 + ct^4)$ besteht, deren Konstanten a, b und c durch Eichung des Thermometers bei den genannten drei Fixpunkten zu bestimmen sind.

Mit Hilfe der Firma Schmidt & Haensch wurde ein neues Mikropyrometer angefertigt, das gegenüber dem älteren Instrument den Vorzug spektraler Zerlegung des Lichtes hat und sich durch Verwendung verschiedener Linsen bei verschiedenen Vergrößerungen (bis etwa 23-fach linear) benutzen läßt. Mit dem Gerät soll die schwarze Temperatur schmaler Wolframbänder in Abhängigkeit vom Heizstrom gemessen werden, wodurch neben dem schwarzen Körper ein sekundäres Normal für die strahlungstheoretische Grundlage der Temperaturskala gewonnen wird.

Das Emissionsvermögen von Wolfram und Platin wurde im Temperaturbereich von 2000 bis 3200°, bzw. zwischen 20° und 1710° als unabhängig von der Temperatur befunden. Die Schmelztemperatur des Wolframs wurde zu 3370° ermittelt.

Die für die Zwecke des Ventilatoren- und Kompressoren-Ausschusses des V. d. I. ausgeführten Versuche über die Strömung von Gasen und Flüssigkeiten in glatten Rohren wurden in der Versuchsanstalt für Wassermotoren in der Charlottenburger Technischen Hochschule fortgesetzt. Sie führten zu dem Ergebnis, daß der Druckabfall nicht nach einer einfachen Potenz der Reynoldsschen Zahl wächst, sondern daß noch ein konstantes Glied zu der Reibungsziffer hinzukommt. Eine, zuerst von Lees auf Grund von Messungen des National Physical Laboratory aufgestellte Gleichung, von der neuere Versuche von Schiller wesentlich abweichen, wurde vollständig bestätigt gefunden. Nachdem das Strömungsgesetz neu untersucht war, konnte die Durchflußziffer α der Normaldüsen bestimmt werden, die im Jahre 1922 in der Ventilatorenfabrik von Danneberg & Quandt mit den glatten Rohren verglichen worden waren. Es ergab sich für die Normaldüsen $\alpha = 0,96$, also ein um 2 vH kleinerer Wert, als man bisher angenommen hatte. Die Untersuchung ist in den Forschungsarbeiten des V. d. I. als Heft 267 erschienen. (Vergl. Z. Nr. 22 S. 581).

Einen wesentlichen Bestandteil der bisher zur Bestimmung des Wärmeleitvermögens von keramischen und ähnlichen Stoffen benutzten Einrichtung bildet ein großes zum Wärmeschutz über die Versuchsanordnung gestülptes Vakuummantel-Gefäß aus Glas. Um von diesem Gefäß, für das schwer Ersatz zu beschaffen war, unabhängig zu werden, und um ferner Messungen bei höheren Temperaturen zu ermöglichen, wurde ein Einplattenapparat konstruiert und in der Reichsanstalt gebaut, bei dem Wärmeverluste nach oben durch einen elektrisch geheizten Schutzdeckel, Verluste nach den Seiten durch elektrische Schutzringheizung ausgeschlossen werden.

Mit dem nach dem Druckwagenprinzip gebauten Differenzdruckmesser für hohe Drücke ergab sich eine Empfindlichkeit der Einstellung des Zeigers von weniger als 0,01 at; die Einstellung erfolgt jedoch noch sehr träge und wird weiter verbessert.

Zur Messung der Verdampfungswärme des Wassers bei hohen Drücken soll zunächst das früher für die Versuche bis 10 at verwandte Rotgußgefäß von 150 mm l. W. und 8,5 mm Wanddicke verwendet werden. Es wurde daher zunächst untersucht, bei welchem Innendruck bleibende Formänderungen auftreten. Bei einer Wasserdruckprobe bis zu 120 at blieb der Durchmesser nur um 0,007 mm größer. Auch unter Berücksichtigung der Festigkeitsabnahme bei höherer Temperatur kann hiernach das Verdampfungsgefäß für wesentlich höhere Drücke als 10 at unbedenklich verwendet werden.

Für Zwecke der Kältetechnik wurde die Zähigkeit wässeriger Kochsalzlösungen von + 25 bis — 10° gemessen. Messungen von Schneider zwischen — 15 und + 45° wurden mit dem Engler-Apparat geprüft und für richtig befunden. Von Mises' Formel über den Zusammenhang zwischen Engler-Graden und kinematischer Zähigkeit bewährte sich dagegen nicht; auf experimentellem Wege soll nun eine neue Beziehung dafür abgeleitet werden.

Auf Grund der genauen Messungen der Isothermen der Luft durch Holborn und Schultze wurde die spez. Wärme der Luft bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen berechnet und unter Berücksichtigung der bekannten Thomson-Joule-Effekt-Messungen und andrer Versuchsunterlagen Kurven und Tabellen von c_p, c_v, $c_p - c_v$ und $\frac{c_p}{c_v}$ für den Bereich von 0 bis 200 at und von — 80 bis + 250° gewonnen.

Die vergrößerte Wasserstoff-Verflüssigungsanlage wurde fertiggestellt und ausgeprobt. Es wurde bisher bei jeder Verflüssigung über 5 l flüssigen Wasserstoffes hergestellt. Nach einer theoretischen Berechnung ist bei einer Vorkühl-Temperatur von — 193° der günstigste Anfangsdruck 170 at, bei — 207° dagegen 165 at. Dabei sollen 18 bzw. 27 vH der durchströmenden Menge verflüssigt werden können. Einstweilen ist die Ausbeute noch wesentlich geringer. Für die Heliumverflüssigung sind der Kompressor, die Gasometer und der Gegenströmer aufgestellt; zunächst wird nun das Neon-Helium-Gemisch getrennt, das die Gesellschaft für Lindes Eismaschinen zur Verfügung gestellt hat.

Von neuen Prüfeinrichtungen der Abteilung ist ein kleiner Thermostat für hohe Temperaturen zu erwähnen, der aus einem massiven Aluminiumzylinder besteht, in den 11 cm tiefe, enge Löcher für die Aufnahme der zu prüfenden Thermometer gebohrt sind. Der Zylinder wird durch eine elektrische Heizspule auf die gewünschte Temperatur gebracht. — Die Hochvakuumuntersuchungen wurden fortgesetzt. Das Rieggersche Manometer wurde verbessert und zu Messungen bis 10^{-7} mm Quecksilbersäule benutzt. Eine Anzahl Hochvakuumpumpen wurde auf Sauggeschwindigkeit untersucht.

Arbeiten der Abteilung IV für Optik.

Die nach dem Wollaston-Walzverfahren für Bolometer hergestellten Platinfolien werden bei geringen Dicken vielfach ungleichmäßig. Es ist nun eine Verbesserung des Elektrolytverfahrens, das bisher nicht zu besonders günstigen Ergebnissen geführt hatte, in der Weise versucht worden, daß die zu isolierende elektrolytische Metallschicht, z. B. Nickel oder Gold, als Zwischenschicht zweier ebenfalls elektrolytischer, nur je einige μ dicken Deckschichten aus unedleren Metallen, z. B. Kupfer, erzeugt wurde. Es gelang auf diese Weise, durch beiderseitige Abätzung gleichmäßig dicke Nickelfolien bis 0,2 μ Dicke zu isolieren und die Abätzdauer auf weniger als eine Stunde zu bringen, während man nach dem bisher üblichen elektrolytischen Verfahren bis zu mehreren Wochen brauchte. Da derart dünne, verhältnismäßig feste Folien auch für andre Gebiete, z. B. als akustische Membranen, als Röntgen- und Radiumfilter von Wert sind, soll das Verfahren auch auf andre Metalle ausgedehnt werden.

Die im Vorjahr begonnenen Versuche zur Steigerung der Flächenhelle und des Wirkungsgrades von Wolfram-Bogenlampen wurden mit Unterstützung der Osram-Studiengesellschaft in Richtung der Gewinnung solcher Elektrodenformen fortgesetzt, die einen größeren Strahlwinkel, z. B. für Lichtbildwerfer, höhere Lichtemission und besseren Wirkungsgrad ergeben. Als besonders geeignete Oberflächenform erwiesen sich faltenfilterartig geriefte Trichtervertiefungen.

Die Untersuchung des Viellinienspektrums des Wasserstoffes wurde fortgesetzt, die der Kadmiumlinie und der Feinstruktur der Lithiumlinie begonnen. Von der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft wurde ein Registrierphotometer zum Aufnehmen von Schwärzungskurven photographischer Platten zur Verfügung gestellt und in Betrieb genommen.

Es wurde gefunden, daß beim Sehen von Bewegungen Gestaltänderungen eintraten. Charakteristisch für periodische Bewegungen ist eine Periodendauer von 0,23 s; bei kürzerer Dauer der Periode verändert sich nicht nur die Gestalt der bewegten Figuren, sondern auch ihre Anzahl. Die Abhängigkeit der Erscheinungen von den Versuchsbedingungen wurde untersucht und veröffentlicht. — Auf Anregung der Firma C. P. Goerz wurden die hygroskopischen Eigenschaften von optischen Gläsern untersucht mit dem Ziel, die Veränderungen der Oberfläche durch Luftfeuchtigkeit auf photometrischem Wege zahlenmäßig festzulegen und so zu einer Klassifizierung der Gläser zu gelangen. Um den Einfluß der Luftfeuchtigkeit zu beschleunigen, wurden die Gläser bei etwa 80 bis 90° mit Wasserdampf fast gesättigter Luft ausgesetzt. Bei 90° waren nach fünf Tagen auch bei Glasarten, die erfahrungsgemäß sehr widerstandsfähig gegen Luftfeuchtigkeit sind, Veränderungen der Oberfläche festzustellen.

Arbeiten des Laboratoriums für Radioktivität, sowie des Chemischen und Präzisions-Mechanischen Laboratoriums.

Die bisherigen Angaben über die Zahl Z von α-Teilchen, die 1 g Radium in einer Sekunde aussendet, weichen stark voneinander ab. Eine Neubestimmung dieser Zahl nach der Szintillations-Methode wurde daher vorgenommen. Dabei war zu beachten, ob jedes α-Teilchen, das auf die mit phosphoreszierender Substanz bedeckte Fläche auffällt, auch eine Szintillation hervorruft, und ferner inwieweit infolge Ermüdungserscheinungen im Auge Szintillationen ausfallen. Sorgfältig hergestelltes Zinksulfid erwies sich in Hinsicht auf Helligkeit der Szintillation allen andern Stoffen, auch dem Diamant, gegenüber als weit überlegen; es reagiert auf jedes einzelne α-Teilchen.

Um den Ausfall nicht gesehener Szintillationen auszuschalten, wurde ein Doppelzählverfahren angewandt, bei dem diese Szintillationen gleichzeitig von zwei Beobachtern auf Vorder- und Rückseite des Lichtschirmes beobachtet und von einem Chronographen aufgezeichnet wurden. Sind N_1 und N_2 die Szintillationszahlen, die die Beobachter A und B während derselben Beobachtungsdauer gezählt haben, und ist C die Zahl der von beiden Beobachtern gleichzeitig verzeichneten Szintillationen, so ist nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Zahl der wirklich auftretenden Szintillationen $N = \frac{N_1 N_2}{C}$. Es zeigte sich, daß auch einem geübten Beobachter im Mittel beinahe 10 vH der auftretenden Szintillationen entgehen. Dieser Fehler wird durch das beschriebene Verfahren ausgeschaltet. Aus Zählungen von 30 000 Szintillationen ergab sich $Z = 3{,}40 \cdot 10^{10}$. Das ist ein 5 bis 9 vH geringerer Wert, als bisher angenommen worden war.

Die Untersuchungen über Radium-Normallösungen wurden abgeschlossen mit dem Ergebnis, daß die von der Reichsanstalt hergestellten und ausgegebenen Normalampullen auf ± 1 vH sicher und seit zwei Jahren konstant sind. Bisher wurden 56 Normalampullen abgegeben. Es liegt also ein ausgesprochenes Bedürfnis nach solchen Lösungen vor. — Nach Abschluß der Vorarbeiten zum Studium der Höhenstrahlung bot sich durch das Entgegenkommen der Jungfraubahn-Verwaltung Gelegenheit, diese Strahlung unter besonders günstigen Umständen, namentlich im Gletschereis und in größerer Höhe, zu beobachten. Das Gletschereis absorbiert nämlich die Strahlung der in der Erdkruste enthaltenen radioaktiven Substanz, und in größerer Höhe ist die Strahlung etwa viermal so groß als im Flachland. Die Versuche auf der Jungfrau ergaben mit Sicherheit, daß es sich um eine γ-Strahlung handelt, die fünfmal so hart ist wie die härteste Strahlung aller uns bekannten Radiumelemente. Der Einbau der Instrumente in tiefe Gletscherspalten ermöglichte die Feststellung, ob die Strahlung diffus oder mit einer Vorzugsrichtung aus dem Himmelsraum in die Atmosphäre eindringt. Trotzdem auch auf dem Jungfraujoch die Höhenstrahlung nicht stärker auf die Instrumente wirkt als ein Milligramm Radium in 11 m Entfernung, war doch zu erkennen, daß die Strahlung vorwiegend aus dem Gebiet der Milchstraße zu uns gelangt. Damit eröffnen sich nach dem Bericht der Reichsanstalt wissenschaftliche Probleme von größter Tragweite.

Die planmäßigen Untersuchungen über die Verbesserung von photographischen Platten, über die Chemie des Glases und über die Angreifbarkeit von Aluminium wurden fortgesetzt. Die Versuche an Aluminium-Dünnblech zeigten, daß die „dezimale Salzsäureprobe" als Maß für die allgemeine relative Angreifbarkeit der Aluminiumbleche gelten kann, daß diejenigen Bleche die größte Reaktionsgeschwindigkeit zeigen, die bei der Auflösung eine lehmige Trübung von Aschenbestandteilen ergeben, und daß die durch die Erwärmung mit reinem Wasser hervorgerufene oxydische Deckschicht um so weniger porös ist und einen um so wirksameren Schutz gegen verdünnte Säuren gewährt, je besser das Metall ist.

Die im Vorjahr in Angriff genommenen Verbesserungen des Flanken-Meßgerätes für Gewindeprüfung sind vollendet worden. Das Gerät gestattet jetzt durch eine zusammengesetzte Beobachtung die gleichzeitige Messung des Flankendurchmessers, der Steigung und des Flankenwinkels an Normalgewinden bis 40 mm Dmr. Ein zweites Gerät für Gewindemessung bis 100 mm Dmr. ist entworfen und wird in der Anstalt gebaut.

Die Versuche an drei Uhrenzugfedern deutscher und ausländischer Herkunft, die sich auf die Größe der Federkraft in den einzelnen Umgängen bei Aufzug und Ablauf, die Ermüdung und die Lebensdauer der Federn bezogen, wurden abgeschlossen. Unterschiede in den beiden Sorten waren nicht mit Sicherheit festzustellen. Bei zwei Federn verschiedener Herkunft erfolgte der Bruch nach 1298 Aufzügen. In einer Uhr mit 14tägiger Gangzeit würden diese Federn rd. vier Jahre Lebensdauer gehabt haben.

Die gesteigerten Ansprüche, die an die Genauigkeit stählerner Maßkörper, insbesondere an Endmaße gestellt werden, lassen es als notwendig erscheinen, die Wärmeausdehnung der verwendeten Stahlsorten in weichem und hartem Zustand zu bestimmen. Hierzu hat eine größere Zahl von Firmen Versuchsmaterial geliefert. Von 21 Stahlsorten, die von zehn führenden Firmen zur Verfügung gestellt wurden, wurde die thermische Ausdehnung zunächst in weichem Zustande, zwischen — 200 und + 150°, ermittelt; außerdem wurden 13 von einer oberschlesischen Hütte stammende Spezialstähle untersucht. Zwischen 0° und 20° betrug die mittlere Ausdehnungszahl des weichen Stahles 10,2 bis $12 \cdot 10^{-6}$, die des gehärteten Stahles, vorläufig nur nach den Ergebnissen an den 13 Spezialstählen, 11 bis $13 \cdot 10^{-6}$. Bei der Temperatur der flüssigen Luft dehnt sich der weiche Stahl nur halb so stark aus wie bei gewöhnlicher Temperatur. Die Untersuchung wird fortgesetzt.

Die auf Anregung einer oberschlesischen Hütte in Angriff genommene Untersuchung neuer volumenbeständiger Stähle ist beendet worden; insgesamt wurden zehn verschiedene Stahlsorten in Form zylindrischer Endmaße von 50 mm Länge geprüft. Sämtliche Stahlkörper haben durch das Härten eine Verlängerung von 0,02 bis 0,12 mm erfahren. Zehnstündiges Tempern im Palminbad bei 150 °C veränderte die Länge fast gar nicht.

Prüfungsarbeiten der Anstalt.

Im Berichtsjahr wurden auf Antrag geprüft:

von der Abteilung I	320	Gegenstände,
„ „ „ II	1 310[1])	„
„ „ „ III	418 680[2])	„
„ „ „ IV	730	„
vom Laboratorium für Radioaktivität	130	„
„ Präzisionsmechanischen Laboratorium	410	„
in der Anstalt selbst, also insgesamt	421 580	Gegenstände.

In dieser Zahl sind enthalten 5 Systemprüfungen für Gasometer und 9 für elektrische Meßinstrumente. Von den 90 geprüften internationalen Weston-Normalelementen wichen die meisten nur um 1 bis $2 \cdot 10^{-4}$ V vom Sollwert ab. Die Hauptzahl der Prüfungen der Prüfämter (39 290) betraf Elektrizitätszähler, die der Abteilung III (407 580) und der Thermometerprüfanstalten (4 817 000) Fieberthermometer. Von den 42 680 für ausländische Staaten bestimmten, nach schärferen Bedingungen als für Deutschland zu prüfenden Fieberthermometern mußte die Reichsanstalt 33 vH zurückweisen, von minderwertigen Restbeständen 40 vH, im allgemeinen aber nur 6 vH. Unter den von Abteilung IV geprüften Gegenständen war ein von einem Radiumpräparat zum Leuchten angeregter Bariumplatincyanür-Kristall; er hatte mit $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Hefnerkerzen/cm² die kleinste je von der Anstalt gemessene Flächenhelle. [M 269]

Max Jakob.

Elektrotechnik.

Transformator für technischen Wechselstrom von 1 Million V.

Die im Frühjahr 1923 in Betrieb genommene Versuchsanstalt der Porzellanfabrik Freiberg i. Sa. der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren G. m. b. H.[3]) enthält zwei viergliedrige Transformatorensätze von je 500 kV Oberspannung gegen Erde, Abb. 1 und 2, die bei ungleichsinniger Polung der beiden Primärwicklungen a für 380 V bei 50 Per./s zwischen

[1]) Von den 7 elektrischen Prüfämtern 46 236 Gegenstände.
[2]) Von den 3 Thermometer-Prüfanstalten 4 817 000 Gegenstände.
[3]) s. O. Neumann, ETZ Bd. 45 (1924) S 177.

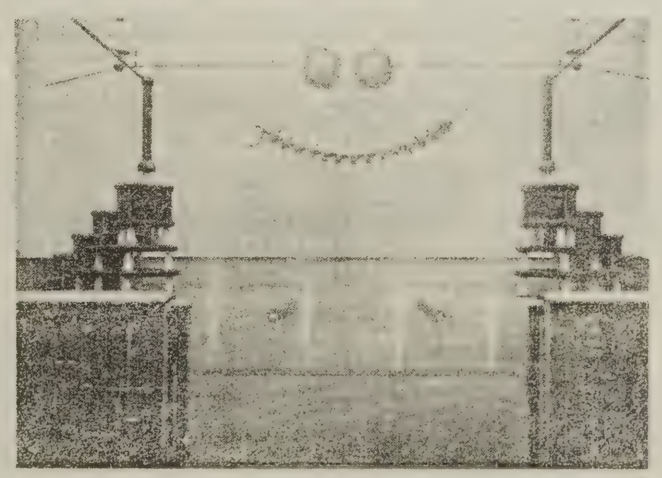


Abb. 1. Die beiden viergliederigen Transformatorensätze der Versuchsanstalt Freiberg i. S.

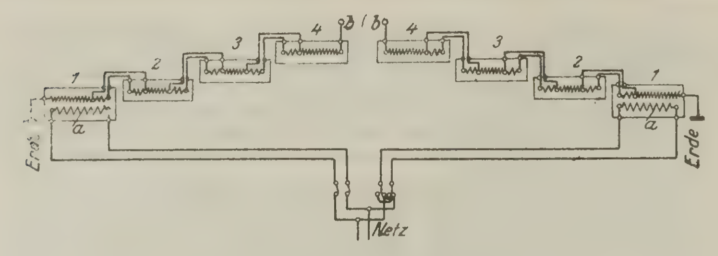


Abb. 2. Schaltbild der Transformatoren

den beiden Oberspannungsklemmen *b* 1 Mill. V Spannung ergeben. Das Übersetzungsverhältnis der in Sparschaltung angeordneten Transformatorwicklungen ist so gewählt, daß die Oberspannungen der einzelnen Stufen je 125 kV betragen und durch Reihenschaltung aller vier Wicklungen 500 kV gegen Erde erreicht wird, wobei der Vorteil, Teilspannungen abzunehmen, gewahrt bleibt. Für Untersuchungen mit 500 kV können die beiden Primärwicklungen *a* gleichsinnig gepolt werden, so daß dann die ganze Scheinleistung der Transformatoren von 200 kVA zur Verfügung steht. Die vier Transformatoren einer Gruppe, Abb. 3, sind treppenartig auf eisernen Tragrahmen und Porzellanstützern aufgestellt. Als Leitungen dienen Kupferblechrohre von 120 mm Dmr. Die Niederspannungswicklungen werden von einem Maschinensatz gespeist, der aus einem 150 kW-Drehstrom-Asynchronmotor und einem 150 kVA-Einphasenstromerzeuger für 380 V bei 50 Per./s besteht, der eine recht genau sinusförmige Spannungskurve liefert.



Abb. 3. Viergliedriger Transformatorensatz.

Von der Versuchsanstalt sei noch erwähnt, daß der Versuchsraum $22 \times 22\ m^2$ Grundfläche und 14,3 m größte lichte Höhe aufweist und durch eine Eisenbeton-Rippendecke freitragend überspannt wird. Er hat keine Fenster, sondern wird durch 34 an der Decke aufgehängte Tiefstrahler beleuchtet. Die Lichtstärke einer Lampengruppe kann durch Vorschaltwiderstände vermindert werden, was für Beobachtungen von Glimm- und Strahlungserscheinungen erforderlich ist. Die zu untersuchenden Isolatorenketten werden an einer Elektrohängebahn mit Fernsteuerung der Laufkatzen aufgehängt. Alle Schalt- und Meßgeräte sind auf einer 3,7 m über dem Fußboden errichteten Bühne an einem Ende des Versuchsfeldes untergebracht. Die Räume für Wärmeprüfungen, Festigkeitsuntersuchungen, hüttenmännische Arbeiten, Werkstatt usw. liegen seitlich vom Versuchsraum.

Zur Erzeugung von künstlichem Regen dienen zwei Säulen senkrecht übereinander angeordneter Spritzdüsen, die mit Leitungswasser, destilliertem Wasser oder natürlichem Regenwasser, auch in verschiedener Mischung, gespeist werden können. Künstlicher Nebel kann ebenfalls durch Streudüsen mittels Druckluft erzeugt und auf den zur Prüfung aufgehängten Isolatoren als feiner Tau niedergeschlagen werden. [R 219]

Technik in der Landwirtschaft.

Eine neuzeitliche Einzelkornsämaschine.

Obschon die Frage der maschinellen Einzelkornsaat verhältnismäßig noch nicht lange zur Erörterung steht, sind doch schon viele Versuche gemacht worden, die Aufgabe konstruktiv und auch fabrikatorisch zu lösen[1]. Von den neueren Versuchen sei im folgenden der kurz behandelt, den die Vereinigten Fabriken landwirtsch. Maschinen vorm. Epple & Buxbaum A.-G. in Augsburg mit der Konstruktion ihrer Einzelkornsämaschine „Mehrbrot" unternommen hat.

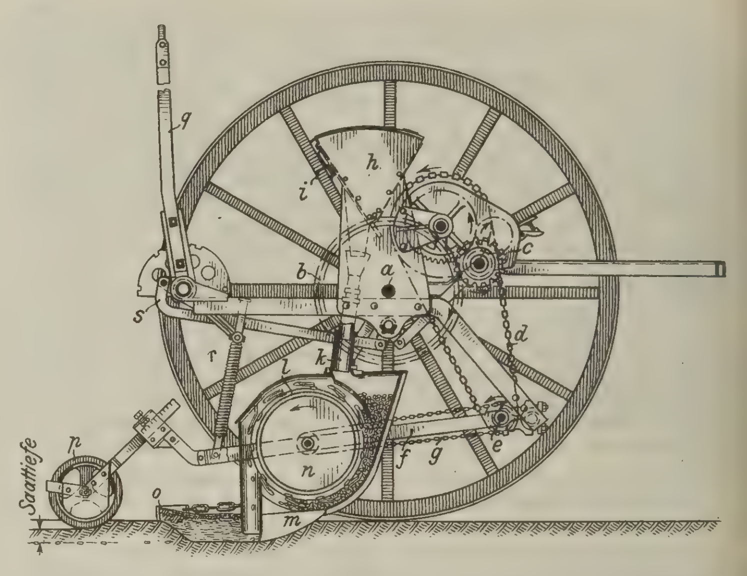


Abb. 4. Einzelkorn-Sämaschine „Mehrbrot" der Vereinigten Fabriken landwirtschaftlicher Maschinen (vorm. Epple & Buxbaum) A.-G., Augsburg.
a Achsstummel, *b* Antriebsrad, *c* Regulierkasten für Lege-Entfernung mit Stellhebel, *d* Hauptantriebkette für Vorlegewelle, *e* Vorlegewelle, *f* Scharhebel, *g* Einzelantriebkette, *h* Hauptsaatgutbehälter, *i* Abschlußschieber, *k* Teleskopfüllrohr, *l* Legerad-Gehäuse, *m* Scharspitze, *n* Legerad, *o* Zustreicher, *p* Verstellbare Führungs- bzw. Druckrolle, *q* Handhebel für Federbelastung, Hochstellung und Getriebeschaltung, *r* Belastungsfeder, *s* Gestänge zum Ein- und Ausschalten des Antriebes.

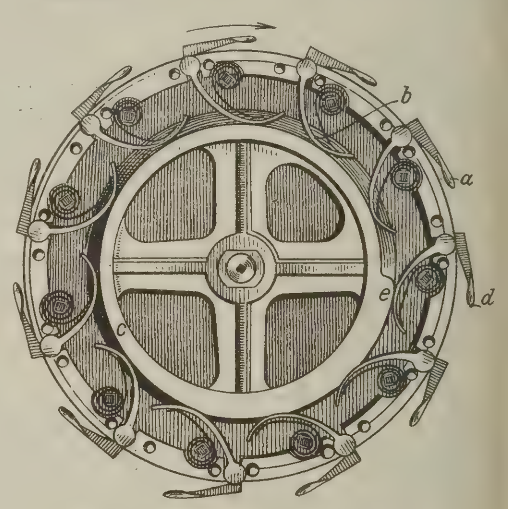


Abb. 5. Das Legerad der Einzelkorn-Sämaschine „Mehrbrot".

Die in Abb. 4 dargestellte Konstruktion besteht aus zwei Hauptteilen: der Antrieb- und Zuführvorrichtung und dem eigentlichen Säorgan. Von dem auf der Achse *a* befestigten Zahnrad *b* werden die Wechselräder des mit Stellhebel versehenen Regulierkastens *c* für die Legeentfernung getrieben. Von hier aus treibt die Kette *d* die Vorlegewelle *e*, die den Antrieb durch die Einzelantriebkette *g* auf das eigentliche Säorgan, das Legerad *n*, überträgt. Das Saatgut wird aus dem Hauptsaatgutbehälter *h* mit Abschlußschieber *i* durch das Teleskopfüllrohr *k* dem Legerad *l* zugeführt. Von diesen Legerädern können nach Bedarf mehrere in einem Gehäuse nebeneinander angeordnet werden; jedes von ihnen ist im Säschar selbst untergebracht, so daß sich die einzelnen Säschare unabhängig voneinander den Bodenverhältnissen anpassen können, während das Saatgut aus dem bereits erwähnten Sammel-Saatkastenbehälter *h* zugeführt wird.

Das Legerad ist vollkommen geschlossen, alle darin angeordneten beweglichen Teile sind staub- und öldicht eingekapselt, nur die entenschnabelförmigen Greifer *a*, Abb. 5, ragen heraus. Durch diese scherenförmigen, tangential angeordneten Greifer werden die Körner zwangläufig erfaßt, und zwar während der gesamten Zeit, während der das Legerad in das Saatgut eintaucht. Die Greifer, die nur einen Drehpunkt haben, liegen in einer entsprechenden Ausfräsung der Legeradscheibe, wobei der sichelförmige Teil *b* auf der hochstehenden Exzenterscheibe *c* gleitet. Diese bewirkt bei der Drehung des Legerades in der Pfeilrichtung das langsame Schließen und ruckartige Öffnen der Greifer, was deutlich aus Abb. 5 hervorgeht, wo *a* einen geschlossenen und *d* einen geöffneten Greifer darstellt. Letzterer taucht beim Weiterdrehen unmittelbar nach seiner Stellung *d* in das Saatgut ein, führt ein Korn mit und klemmt dieses immer fester, bis durch die Nocke *e* die Zange so plötzlich geöffnet wird, daß das Saatkorn unmittelbar zur Furche niederfällt. Die entenschnabelförmige Erweiterung des aus dem Legerad herausragenden Greiferarms ermöglicht auch das Erfassen größerer Samenarten, wie Erbsen und Bohnen. („Die Landmaschine" 1924 Heft 7) [R 346] Sr.



[1] Vgl. Z. Bd. 68 (1924) S. 113.

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Geschichte der Gasmotorenfabrik Deutz. Von C. Matschoß. Berlin 1921, VDI-Verlag G. m. b. H.

Zur Erinnerung an das im Jahre 1914 erreichte fünfzigjährige Bestehen der Motorenfabrik Deutz hat der bekannte Verfasser im Verlage des Vereines deutscher Ingenieure ein Werk erscheinen lassen, das von der Erstlingsentwicklung an den Werdegang der Verbrennungskraftmaschine im Zusammenhang mit ihren geistigen Schöpfern in lebensvoller Schilderung wiedergibt. Für unsere technische Literatur ist dieser Ausschnitt aus der Geschichte der Technik deshalb von besonderem Reiz und von hohem Wert, weil er Zeugnis ablegt von einem unleugbaren Triumph deutscher Zähigkeit und deutscher Ingenieurkunst. Wenn man die Bedeutung würdigt, die der Verbrennungskraftmaschine in der Form der Dieselmaschine und der Großgasmaschine im Rahmen der gesamten Wärmekrafterzeugung zugefallen ist, wird man sich der Wichtigkeit dieser Ursprungsentwicklung bewußt, die in dem vorliegenden Werk von der Meisterhand des Verfassers wiedergegeben ist.

Die Darstellung geht von den Vorläufern der Gasmaschine aus und entrollt anschließend den Lebensgang der beiden Pioniere Otto und Langen, denen der Erfolg ihrer Erfindertätigkeit einen unsterblichen Ruhm gesichert hat. Der geistige Kampf um Patentschutz wechselt mit dem Widerstand, den der Baustoff und die Gestaltung der einzelnen Teile und vor allem die mangelnde Genauigkeit der Herstellung dem Gelingen entgegensetzten. Von besonderem Reiz sind die Abwege der konstruktiven Ausbildung, die in ihren Mängeln und Gefahren erst erkannt werden mußten, um schließlich die sieghaften Bauformen der neueren Zeit entstehen zu lassen.

Das Werk, das mit zahlreichen guten und bisher unveröffentlichten Abbildungen ausgestattet ist und viele interessanten statistischen Angaben enthält, erstreckt seine Ausführungen bis zum Kriege. Es umfaßt daher vor allem den Übergang zur Dieselmaschine und die Verbreiterung des Anwendungsgebietes der Deutzer Verbrennungskraftmaschine durch das Kraftfahrwesen im weitesten Sinne des Wortes. Eine Darstellung der Werkstätten und der Organisation der Motorenfabrik Deutz schließt das Buch ab. dessen Besitz einem jeden Ingenieur anempfohlen werden muß, der für das Werden der Technik und für die Träger der dieses Werden vorwärtstreibenden Gedanken einen empfänglichen Sinn verspürt. [B 291] Dr. Nägel.

Die Maschinistenschule. Vorträge über die Bedienung von Dampfmaschinen und Dampfturbinen zur Ablegung der Maschinistenprüfung. Von E. O. Morgner. 2. Aufl. Berlin 1924, Julius Springer. 177 S. m. 140 Abb. Preis Gm. 2,70.

Die Rationalisierung im Deutschen Werkzeugmaschinenbau. Von Dr. F. Wegeleben. Berlin 1924, Julius Springer. 172 S. Preis Gm. 6.

Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten. Von Dr. H. Marcus. Berlin 1924, Julius Springer. Preis Gm. 21, geb. Gm. 21,80.

Der Glimmschutz. Erfahrungen und Versuche mit einem neuen Überspannungsschutz. Von Dr.-Ing. G. J. Meyer. Leipzig und Berlin 1923. B. G. Teubner. 61 S. m. vielen Abb.

Der beschriebene Glimmschutz ist ein Kondensator mit veränderlicher, bei Überschreitung der Glimmgrenze stark ansteigender Kapazität. Er nimmt bei Überschreitung dieser Grenze einen Wattstrom auf, der umso stärker ist, je höher die Spannung ansteigt, und der sich dazu eignet, die Front sekundärer steiler Wellen erheblich abzuflachen. Gegenüber allen Schutzvorrichtungen mit Funkenstrecken bietet der Glimmschutz den Vorteil, daß er keine leitende Verbindung zur Erde hervorruft, die das Nachfolgen des Maschinenstromes bedingt, also geringen Raum beansprucht und sekundäre Grunderscheinungen vermeidet. Die ersten Versuche mit dem von der Firma Dr. Paul Meyer A.-G. ausgearbeiteten Glimmschutz hat die Betriebsverwaltung des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes, Essen, durchgeführt.

Elementare Einführung in den Eisenbetonbau. Herausgegeben von Peter Hans Riepert. 5. Aufl. T. 1. Berlin-Charlottenburg 1924, Zementverlag. G. m. b. H. 263 S. Preis Gm. 4.

Einflüsse auf Beton. Die chemischen, mechanischen und sonstigen Einflüsse von Säuren, Laugen und dergl. auf Mörtel und Beton, sowie die Maßnahmen zur Verringerung und Verhütung dieser Einflüsse. Ein Auskunftsbuch für die Praxis von A. Kleinlogel. Berlin 1924, Wilhelm Ernst & Sohn. 331 S. Preis geh. Gm. 13,50, geb. Gm. 15.

Neuzeitliche Vorkalkulation im Maschinenbau. Von Fr. Hellmuth u. Fr. Wernli. Berlin 1924, Julius Springer. 219 S. m. 128 Abb. und zahlreichen Tabellen. Preis Gm. 11.

Die Mechanik. Von R. Lauenstein. Bearb. v. C. Ahrens. Leipzig 1923, Heinrich Kröner. 272 S. m. 235 Abb. Preis Gm. 5,50, geb. Gm. 8.

Graphische Hydraulik. Von A. Schoklitsch, Sammlung Mathematisch-Physikalischer Lehrbücher Nr. 21. Leipzig 1923, B. G. Teubner. 42 S. mit 45 Abb. Preis kart. Gm. 2,60.

Mathematische Physik. Ausgewählte Abschnitte und Aufgaben aus der theoretischen Physik. Von Dr. K. Hahn. Leipzig und Berlin 1924. B. G. Teubner. 163 S. mit 46 Abb. Preis Gm. 5.40.

Die Grundlagen der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen Bd. 1 **W. Blaschke: Vorlesungen über Differentialgeometrie.** I. Elementare Differentialgeometrie. 2. Aufl. Berlin 1924. Julius Springer. 242 S. Preis geh. Gm. 11, geb. Gm. 12.

Lehrbuch der Algebra. Von R. Fricke. 1. Band: Allgemeine Theorie der algebraischen Gleichungen. Braunschweig 1924. Friedr. Vieweg & Sohn. 461 S. Preis Gm. 12, geb. Gm. 14.

Die Eisenbahnreform in Deutschland und Österreich. Zwei Abhandlungen von Adolf Sarter und Heinrich Wittek. Berlin 1924. Julius Springer. 60 S. Preis Gm. 2.

Lehrbuch der Chemie. Von M. Trautz. 3.(Schluß)-Bd. Berlin u. Leipzig 1923. W. de Gruyter. 1034 S. mit zahlreichen Abb., Tafeln u. Tabellen. Preis Gm. 40.

Werner Mecklenburg. Kurzes Lehrbuch der Chemie. 2. Aufl. Zugleich 13. Aufl. von Roscoe-Schorlemmers Kurzem Lehrbuch d. Chemie. Braunschweig 1924, Vieweg & Sohn. 793 S. m. 100 Abb. Preis geh. Gm. 20. geb. Gm. 23.

Elektrochemie nichtwässriger Lösungen. Von P. Walden. Hand buch der angewandten physikalischen Chemie von G. Bredig. Band XIII. Leipzig 1924, J. A. Barth. 515 S. m. 3 Abb. Geb. Gm. 28.

Kohlenchemie. Von Dr. H. Strache u. Dr. R. Lant. Leipzig 1924. Akadem. Verlagsges. m. b. H. 599 S. m. 52 Abb. u. 1 Tafel. Preis Gm. 24, geb. Gm. 26.

Angewandte Geologie und Paläontologie der Flachseegesteine und das Erzlager von Salzgitter. Von Dr. Johannes Weigelt. Berlin 1923, Gebr. Borntraeger. 119 S. m. viel. Abb. Preis Gm. 6,75.

Bruno Kerl's Probierbuch. Kurzgefaßte Anleitung zur Untersuchung von Erzen und Hüttenprodukten. Bearb. von Karl Krug. 4. Aufl. Leipzig 1924, Arthur Felix. 124 S. m. 52 Abb. Preis geb. Gm. 8.

Chemische Technologie in Einzeldarstellungen. Herausgegb. von Dr. A. Binz. **Die Physikalischen und Chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens.** Von W. Mathesius. 2. Aufl. Leipzig 1924. Otto Spamer. 483 S. m. 39 Abb. und 118 Diagrammen. Preis Gm. 27.

Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie. Bd. 13. Jahrbuch des Vereines deutscher Ingenieure. Herausgegeben von C. Matschoß. Berlin 1923. VDI-Verlag G. m. b. H. 150 S. mit 61 Abb. und 3 Bildnissen. Preis brosch. Gm. 7, geb. Gm. 9.

Die Rentenbankverordnung vom 15. Oktober 1923 unter besonderer Berücksichtigung der Belastung von Grundbesitz, Handel und Industrie. Von Dr. Erler und Dr. Koppe. Berlin 1924. Industrieverlag Spaeth & Linde. 168 S. Preis Gm. 3,80.

Kommentar zur Verordnung über Goldbilanzen vom 28. Dezember 1923. Von Dr. R. Byck. Berlin 1924, Otto Liebmann. 192 S. Preis Gm. 5.

Wirtschafts- und Kennzahlen. 1923. Herausgegeben von W. Ehmer. Stuttgart. Verlag d. Süddeutschen Zeitung G. m. b. H. 40 S. Preis Gm. 1,50.

Die Absetzungen für Abnutzung nach dem Einkommensteuergesetz. Von Dr. G. Strutz. Berlin 1924. Industrieverlag Spaeth & Linde. 62 S. Preis Gm. 1.80.

Tabelle zur Ermittlung der Lohnsteuer. Von Dr. P. Beusch. Berlin 1924, Industrieverlag Spaeth & Linde. Preis Gm. 1.

Die Buchführungsverordnung vom 25. Januar 1924, steuerrechtlich und buchtechnisch erläutert v. F. Koppe u. P. Gerstner. Berlin 1924, Industrieverlag Spaeth & Linde. 100 S. Preis Gm. 2,80.

Goldmarkbuchführung nach den steuerlichen Vorschriften von K. Schlör und H. Wulff. Berlin 1924. Otto Liebmann. 60 S. Preis Gm. 1,80.

Die Tochtergesellschaft. Eine rechtliche Studie zur modernen Konzernbildung und zum Effektenkapitalismus. Von Dr. F. Haussmann Berlin 1923. Otto Liebmann. 184 S. Preis Gm. 3,80.

Das Arbeitsrecht Deutschlands, Bd. 2: **Die Verordnung über das Schlichtungswesen** vom 30. Oktober 1923. Mit Erläuterungen von P. Wölbling u. Dr. Riese. Berlin 1924. Industrieverlag Spaeth & Linde. 136 S. Preis Gm. 3.

Zeitschrift für Betriebswissenschaft. Jg. 1 (1924). Berlin 1924. Spaeth & Linde.

Wirtschaftsnot und Selbsthilfe der deutschen Studentenschaft. Von Dr. H. Gehrig. Berlin und Leipzig 1924. W. de Gruyter & Co. 112 S. Preis Gm. 4.

Flemmings Generalkarten. Universal-Ausgabe. N. 33: **Polen.** Maßstab 1 : 1 000 000 mit 12 Nebenkarten. Berlin, Flemming & Wiskott. Preis Gm 3.

Baedeckers Berg-Kalender 1924. Begründet von Dr. A. Huyssen, umgearb. v. Dr. K. Siebert. Essen (Ruhr) 1924, G. D. Baedeker G. m. b. H. 404 S. Preis Gm. 12.

C. Regenhardt's Geschäftskalender für den Weltverkehr. 49. Jg. 1924. Berlin-Schöneberg, Regenhardt G. m. b. H. 942 S. Preis Gm. 7,90.

Hochofen I. Ein oberschlesischer Roman. Von H. Richter. Leipzig. Ernst Keils Nachf. (August Scherl), G. m. b. H. 236 S. Preis Gm. 4.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Untersuchung der Riffelbildung an Schienen mit Hilfe des Torsiographen.

Zum Aufsatz von Herrn Dr. J. Geiger, Augsburg, auf S. 282 möchte ich folgendes bemerken:

Die Untersuchungen des Herrn Dr. J. Geiger können nicht zur Lösung der Frage der Riffelbildung führen, weil die Vorgänge beim Rollen eines Straßenbahnwagens verwickelter sind, als Geiger voraussetzt. Zunächst bedingt die Kegelform der Laufräder, die sich auch bei zylindrischen Rädern infolge der eigentümlichen Abnützung nach kurzer Betriebszeit einstellt, auch in geraden Strecken ein Gleiten der Räder. Dann findet ein Gleiten der Räder in Richtung der Achsen statt, wenn diese, wie es bei Kurven oder in Geraden beim Schlingern der Fall ist, nicht radial stehen. Auch die elastischen Formänderungen sind mannigfaltiger, als Geiger annimmt. Neben der Verdrehung der Achsen erleiden die Federn, die Räder, die Achsen samt Antrieb, das Untergestell, die Schienen samt Unterbettung elastische Formänderungen in den verschiedensten Richtungen des Raumes, so daß Schwingungen aller Art auftreten. In der Zeitschrift „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“ 1908 bis 1917 habe ich aber nachgewiesen, daß Riffeln schon bei wesentlich einfacheren Verhältnissen als Folgen von senkrechten Relativbewegungen eines unabhängigen Laufrades eintreten können. Die Bedingung für den Eintritt der Möglichkeit der Riffelbildung lautet in diesem Falle:

$$v > f \sqrt{P r \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right)},$$

worin bedeuten:

- v die Wagengeschwindigkeit,
- f einen Faktor, der abhängig ist von der Dämpfung und der Einheitlichkeit der Fahrzeuge und der Geschwindigkeiten,
- P den Raddruck,
- r den Radhalbmesser,
- M_1 die Masse des Rades und der mitschwingenden Wagenteile,
- M_2 die Masse der schwingenden Oberbauteile.

Die Gleichung besagt: Riffelbildung tritt um so leichter ein, je größer die Wagengeschwindigkeit und die Massen der schwingenden Teile an Wagen und Oberbau und je kleiner der Dämpfungsfaktor, der Raddruck und die Raddurchmesser sind.

Die Längen der Riffeln werden durch die erwähnten Schwingungen bestimmt. Sie sind außerordentlich schwankend, so daß es schwer ist, festzustellen, welche Schwingungsart die für die Riffelbildung maßgebende ist. Bis jetzt ist es mir gelungen, drei Hauptgruppen von Riffeln festzustellen, die sich jedoch häufig überdecken. Die erste Gruppe zeigt eine Frequenz von etwa 200 bis 400 Per./s. Die erregende Schwingung dürfte innerhalb des Laufrades zu suchen sein. Die zweite Gruppe mit einer Frequenz von 60 bis 120 Per./s ist die häufigste und auch die schädlichste. Ihre Ursache dürfte in den senkrechten Schwingungen der Schienen und Räder infolge anfänglich vorhandener, kleiner Unebenheiten, dem Aufklettern und Zurückwandern des Rades infolge der Kegelform (Schwabbeln und Sägen) und den entsprechenden Gegenbewegungen der Schienen (Schwänzeln) zu suchen sein. Die dritte Gruppe hat Schwingungszahlen von 10 bis 30 Per./s. Ihre Ursache scheint in Untergestell- und Drehschwingungen zu liegen. Weitere Formänderungserscheinungen ähnlicher Art sind die folgenden: Die sogenannte Schweinsrückenbildung bei schwachen Schienen und Stößen (Frequenz ¾ bis 1 Per./s), die zum Galoppieren des Wagens führt, und das seitliche Schlingern (Frequenz ¼ bis ½ Per./s).

Es wäre ein verdienstliches Werk, wenn Geiger seine im übrigen sehr beachtenswerten Versuche auf die genannten Schwingungserscheinungen ausdehnen würde. [Z 289]

Nürnberg, 25. März 1924. Direktor Dipl.-Ing. K. Sieber.

Auf die Zuschrift von Herrn Direktor K. Sieber erwidere ich: Ich habe nicht behauptet, daß nicht andre Schwingungserscheinungen außer Drehschwingungen der Radwelle ebenfalls Riffeln verursachen können, sondern lediglich auf Grund meiner Messungen nachgewiesen, daß „Drehreibschwingungen hierbei eine Rolle spielen“. Ich möchte diesen Satz noch genauer dahin fassen, daß sie eine sehr wesentliche, aber nicht etwa die einzige Ursache der Riffelbildung sind. Meine Messungs- und Rechenergebnisse sind durch die gewiß schätzenswerten Ausführungen des Herrn Direktor Sieber nicht widerlegt; ich sehe mich daher lediglich veranlaßt, auf die beiden letzten Abschnitte seiner Zuschrift näher einzugehen. Ich erkläre mit Sieber die Schwingungen mit einer Frequenz von 60 bis 120 Per./s für die häufigsten und schädlichsten, halte es aber für unwahrscheinlich, daß die Ursache senkrechte Schwingungen sein können. Denn einerseits ist von mir für den einen geschilderten Fall sowohl durch Messung als auch durch Rechnung gezeigt, daß hier Drehschwingungen die Ursache sind, anderseits können allgemein senkrechte Schwingungen nur auftreten, wenn entsprechende erregende Kräfte vorhanden sind. Unebenheiten könnten als erregende Kräfte meines Erachtens nur dann eine Rolle spielen, wenn sie ganz gesetzmäßig in gleichen Abständen aufeinander folgen, wenn außerdem eine Eigenfrequenz des Systems in senkrechter Richtung (Federn-Wagen) mit der in der Minute bei einer bestimmten Fahrtgeschwindigkeit angetroffenen Zahl der Unebenheiten zusammenfiele, und wenn endlich hierbei der Druck bei einem Rad so gering würde, daß ein Gleiten eintreten könnte.

Am schnellsten und sichersten wird hier jedenfalls die Messung zum Ziele führen, um so mehr als im Vibrographen ein Meßgerät zur Verfügung steht, mit dem sich sämtliche von Sieber angeführten Schwingungen nach allen drei Richtungen im Raume sowohl am Rad als auch an der Schiene, am Drehgestell als auch am Wagen bequem und genau aufzeichnen lassen.

Der Anregung von Sieber, die geschilderten Versuche weiter auszudehnen, beabsichtige ich im Sinne einer Mitarbeit gerne Folge zu leisten, würde es aber besonders begrüßen, wenn die unmittelbar beteiligten Kreise ebenfalls solche Versuche durchführen würden, um so mehr, als der Kostenaufwand hierfür gegenüber den heute für das Planieren und Auswechseln der Schienen usf. entstehenden Kosten ganz verschwindend gering ist. Wenn an verschiedenen Stellen planmäßig derartige Versuche angestellt und das Material gemeinsam verwertet würde, dann würde meines Erachtens binnen kurzem eine vollständige Klarheit in dieser für den Bahnbetrieb so wichtigen Frage geschaffen werden können. [Z 289] Dr. J. Geiger.

Einfache eiserne Dachkonstruktionen für Industriebauten.

Die von Herrn Zivilingenieur Langert, Hannover, in Z. Bd. 68 (1924) S. 111 angestellte Vergleichsrechnung, Querschnitt 8 gegen Querschnitt 9, ist von dem Wunsch getragen, die angeblich neue Bauweise in ein möglichst günstiges Licht zu setzen. Für eine Zugspannkraft von 14 330 kg würde ich an Stelle des exzentrisch angeschlossenen einen U-Eisens NP 18 zwei zentrisch wirkende Winkel 60/60/6 mit F_{netto} = 11,90 cm² wählen. Das Profil Z NP 10 wiegt 11,38 kg/m, hingegen zwei Winkel 60/60/6 nur 10,84 kg/m. Bei 15 m Binderspannweite ergibt sich eine Ersparnis von 15 × (11,38 — 10,84) = 8,1 kg. Außerdem ist bei zwei Winkeln der Anschluß am Auflager konstruktiv bedeutend einfacher. Neben dem Fortfall einer Reihe von Nieten ergibt sich durch Wegfall der Anschlußwinkel noch ein Mindergewicht von etwa 8 kg. Für die Gesamtersparnis von 8,1 + 8,0 = 16,1 kg lassen sich im Untergurt die erforderlichen kleinen Knotenbleche gut herstellen. Der Einwand größerer Haltbarkeit bei Z-Profilen durch Vermeiden der Schlitze ist praktisch unbedeutend. Wie der angeführte Lokomotivschuppen in Abb. 11 deutlich zeigt, sind die mittleren Füllungsstäbe sämtlich zweistäbig, haben also tatsächlich doch Schlitze, die Herr Langert vermeiden will. Die Erhaltung der Füllungsstäbe ist aber für den Bestandteil des Bauwerks von gleicher Bedeutung wie die der Gurte. Eine Verwendung von Z-Profilen im Untergurt bietet also, wie nachgewiesen, keinen Vorteil.

Im Obergurt eines Bogenbinders dagegen besitzt das Z-Eisen NP 10 nur ein J_{min} = 24,6 cm⁴, ist mithin bei vierfacher Sicherheit und 14 330 kg Spannkraft nur auf 0,96 m knicksicher. Unter dem Oberlicht beträgt die freie Knicklänge mindestens 2 m, wofür das Z NP 10 nicht ausreicht. Vergleicht man das Z-Profil in diesem Falle mit einem symmetrischen Querschnitt, z. B. zwei U NP 6½, welche 16 mm gespreizt sind, so schneidet das Z-Profil besonders ungünstig ab. Der U-Querschnitt besitzt ein J_{min} = 115 cm⁴, reicht also für die freie Knicklänge von 2 m unter dem Oberlicht aus. Würde man ein Z-Profil wählen, so könnte als Vergleich nur ein Z NP 18 mit J_{min} = 110 cm⁴ in Frage kommen. Z NP 18 wiegt aber 26,14 kg/m, dagegen zwei U NP 6½ nur 18,06 kg/m. Der angegebene Vorteil des Z-Profils verschwindet also und schlägt in das Gegenteil um, wenn man einen praktischen Vergleich anstellt und sich nicht von dem Wunsche leiten läßt, für eine bestimmte Form etwas Günstiges herauszurechnen. Wenn nun trotzdem verschiedene der gezeigten Entwürfe zur Ausführung gelangt sind, so beweist dieses nicht, daß dem Z-Profil kein anderer, ebenso günstiger Entwurf zur Seite zu stellen ist.

Bei der dargestellten Eindeckungsart (Holzsparren längslaufend) halte ich es für sehr bedenklich, den Obergurt nur zwischen zwei Holzsparren knicksicher zu halten. Schon aus Sicherheitsgründen würde ich unbedingt anstreben, daß der Obergurt eine größere Steifigkeit erhält, damit nicht durch das Versagen auch nur einer Holzsparrenbefestigung das gesamte Bauwerk gefährdet wird. Ich habe in dieser Hinsicht schon mancherlei Ausführungen gesehen. Mir ist eine Firma bekannt, welche ganze Hallendächer ohne jeglichen Verband baut und sich nur auf die Holzverschalung verläßt.

Auf jeden Fall ist es unhaltbar, daß sich durch Verwendung von Z-Profilen 50 vH Gewichtsersparnis erzielen lassen.

Düsseldorf. Heinrich Maritzen, Bauingenieur.

Auf die Zuschrift des Herrn Maritzen erwidere ich, daß mein Aufsatz lediglich den Vorteil der neuen Z-Gurtungen gegenüber den alten U-Gurtungen zum Ausdruck bringt. Die Ausführungen des Herrn Maritzen beschäftigen sich nun mit dem Kern der Sache überhaupt nicht, und es erübrigt sich somit, auf diese einzugehen, sie bieten nichts Neues und sind jedem Fachmann des Eisenbaues bekannt, dem es auch überlassen werden kann, Kritik daran zu üben.

Hannover. H. Langert, Zivilingenieur.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTLEITER: D. MEYER

NR. 24 SONNABEND, 14. JUNI 1924 BD. 68

INHALT:

Die experimentelle Untersuchung des pneumatischen Fördervorganges[1]).

Von Dr.-Ing. Gasterstädt, Dessau.

Wesen der pneumatischen Förderung. Gesichtspunkte für die experimentelle Untersuchung und Begrenzung der Versuchsaufgabe. Beschreibung der Versuchsanlage und der Meßeinrichtung. Ausbildung neuer Meßverfahren. Versuche mit Weizen und Wickenbruch. Einfluß der geförderten Materialmenge und Fördergeschwindigkeit auf den Druckabfall in der Förderleitung. Untersuchung über die Bewegungsvorgänge beim Durchgang eines einzelnen Kornes (Kugel) und eines geschlossenen Materialstromes durch eine wagrechte Förderleitung. Ergebnis: gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen spezifischer Fördermenge und spezifischem Druckabfall, gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Luftstrom- und Materialgeschwindigkeit.

Die gewaltige Steigerung des gesamten Güterverkehrs, die in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts einsetzte, stellte an die Fördertechnik völlig neue Aufgaben, deren Lösung nur durch Ausbildung neuer Förderverfahren möglich war. In den letzten Abschnitt dieser Verkehrsentwicklung fällt der Bau von pneumatischen Förderanlagen, mit denen Schüttgüter aller Art, hauptsächlich Getreide, verladen oder im Nahverkehr von einer zur andern Lagerstelle bewegt werden. In den letzten Jahrzehnten haben besonders deutsche Maschinenbauanstalten den Bau derartiger Förderanlagen in jeder Hinsicht ausgebildet und sind dabei auf Grund vielseitiger praktischer Erfahrungen zu einem gewissen Abschluß gelangt.

Mit den Erfolgen des bauenden Ingenieurs hat die wissenschaftliche Behandlung des pneumatischen Fördervorganges nicht Schritt gehalten. Der Versuch, auf rein rechnerischem Wege die Gesetze der Hydromechanik auf den besonderen Fall der pneumatischen Förderung anzuwenden und hierdurch eine Klärung der Bewegungsvorgänge zu suchen, scheint mit Rücksicht auf die schwierige Behandlung turbulenter Strömungsvorgänge von vornherein aussichtslos, anderseits stehen auch der experimentellen Untersuchung große Schwierigkeiten entgegen. Planmäßige Versuche lassen sich an ausgeführten Anlagen im praktischen Betriebe nur unvollkommen und mit schweren Betriebstörungen durchführen, auch fehlt es an der Möglichkeit, die einfachsten Druck-, Mengen- und Leistungsmessungen mit der nötigen Genauigkeit durchzuführen. Um eine Klärung der grundlegenden Vorgänge herbeizuführen, entschloß sich die Mühlenbau-Anstalt und Maschinenfabrik, vorm. Gebr. Seck, Dresden, eine vollständige, umfangreiche pneumatische Förderanlage dem Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Dresden zu Versuchszwecken zur Verfügung zu stellen und somit erstmalig eine Grundlage zur planmäßigen Untersuchung zu schaffen. Über die Einrichtungen, die Versuchsverfahren und Ergebnisse, die an dieser Anlage gewonnen wurden, soll im folgenden zusammenfassend berichtet werden.

I. Begrenzung der vorliegenden Versuchsaufgabe und die theoretischen Grundlagen.

Zur pneumatischen Förderung benutzt man einen in einer Rohrleitung geführten Luftstrom, der bei hinreichender Strömgeschwindigkeit imstande ist, das Fördergut in wagerechter und aufsteigender Richtung ohne Ablagerung im Rohre mit fortzutragen. Auf den Arbeitsaufwand dieser Beförderungsart sind folgende Größen, die bei der Untersuchung als Versuchsveränderliche in Frage kommen, von Einfluß:

1) die Eigenschaften des Fördergutes, nämlich sein spezifisches Gewicht, die Größe, Form und Oberflächenbeschaffenheit seines Kornes,

2) die Dichte und Strömgeschwindigkeit der Förderluft. Durch beide Größen ist die Strömungsenergie der Förderluft bestimmt.

3) die Richtung des Förderweges, ob wagerecht, aufwärts geneigt oder senkrecht, und etwaige Richtungsänderungen durch eingebaute Krümmer,

4) die Größe des Durchmessers und die Wandungsbeschaffenheit der Rohrleitung.

Es bezeichne G_m das stündlich geförderte Gut und G_l die stündlich durch den Rohrquerschnitt strömende Luft in kg/h. Das Verhältnis $\frac{\text{stündl. Fördergut}}{\text{stündl. Förderluft}} = \frac{G_m}{G_l} = \mu$ stellt die spezifische Fördermenge oder das Mischungsverhältnis des Gut-Luft-Gemisches dar.

Den Druckabfall in der Förderleitung setzt man zweckmäßig ins Verhältnis zum Druckabfall strömender Luft ohne Gut (reine Luft). Bezeichnet $\varDelta P_l$ den Druckabfall in einer Rohrleitung für G_l kg/h reine Luft und $\varDelta P_m$ den Druckabfall für dieselbe Luftmenge bei Förderung einer Materialmenge G_m, so ist das Verhältnis $\frac{\varDelta P_m}{\varDelta P_l} = \pi$ der spezifische Druckabfall beim Mischungsverhältnis $\frac{G_m}{G_l} = \mu$, also $\pi = f(\mu)$. Diese Funktion hängt von den bereits oben bezeichneten Versuchsveränderlichen 1 bis 4 ab.

Erfahrungsgemäß ist ferner für jedes Fördergut eine bestimmte Mindestgeschwindigkeit der Luft erforderlich, um Ablagerungen im Rohr zu vermeiden und einen einwandfreien Beharrungszustand aufrecht zu erhalten. Diese Mindestgeschwindigkeit läßt sich, ähnlich wie der spezifische Druckabfall, durch planmäßige Versuche in Beziehung zu den Guteigenschaften, der Luftdichte, den Rohrabmessungen und der Förderrichtung bringen.

Als weitere Aufgabe galt es, einen Einblick in die Bewegung des Gutes, d. h. die Bahn der Körner im Rohr zu gewinnen. Hierbei erschien es zweckmäßig, von möglichst einfachen Versuchsbedingungen auszugehen, zunächst die Bewegung einer einzelnen Kugel in der Förderleitung zu untersuchen und die hierbei gemachten Beobachtungen alsdann durch Messungen an einem ganzen Materialstrom zu erweitern. Von den vielen hierbei auftauchenden Fragen gelang es, folgende der Beantwortung zugänglich zu machen:

[1]) Ausführlicher Bericht s. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens Heft 265. Berlin 1924, VDI-Verlag.

1) Wie groß ist die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Luftstrom und dem Material in einer langen wagerechten Leitung?

2) Wie verteilt sich in einer solchen Leitung das Fördergut über den Querschnitt und wie ändert sich seine Geschwindigkeit zwischen Wand und Rohrmitte?

Zusammenfassend ergab sich als erste Versuchsaufgabe:

I. Untersuchung des Einflusses des Mischungsverhältnisses μ auf den spezifischen Druckabfall π für verschiedene Luftgeschwindigkeiten und auf die erforderliche Mindest-Geschwindigkeit w_{min} in einer Förderleitung von gegebenen Abmessungen. Als Fördergut standen Weizen, Mais und Wicken zur Verfügung.

II. Untersuchung der Materialbewegung im Rohr:

a) der Einzelbahn einer Kugel,
 1) Einfluß von spezifischem Gewicht und Durchmesser der Kugel,
 2) Einfluß der Luftgeschwindigkeit und Luftdichte;

b) des Materialstromes,
 1) Einfluß des Mischungsverhältnisses auf die Materialverteilung über den Querschnitt,
 2) Einfluß des Mischungsverhältnisses auf die Materialgeschwindigkeit.

Die Gleichung für strömende Luft in Rohrleitungen.

Für die rechnerische Behandlung der Versuchsergebnisse geht man von der Energiegleichung für strömende Luft in einer Rohrleitung aus und führt in diese Gleichung den Materialtransport als Gasarbeit ein. Diese Arbeit ist äußere Arbeit, soweit die kinetische Energie des Materialstromes erhöht oder Arbeit gegen die Schwerkraft längs des Bahnelementes geleistet wird, während wiederum ein anderer Teil der Strömungsenergie der Luft durch den Transport verwirbelt und dadurch in innere Energie verwandelt wird und zur eigentlichen Rohrreibung hinzutritt. Für die Gleichung der strömenden Luft in einer Rohrleitung wird die begriffliche Gliederung und die Wahl der Einheiten der Darstellungsweise von Mollier („Hütte" Bd. I) entnommen. Für den besonderen Fall der vorliegenden Versuchsanlage werden folgende Einschränkungen gemacht:

1) Im Fall der wagerechten Leitung: Die Querschnitte F_1 und F_2 einer Rohrstrecke 1 bis 2 liegen in gleicher Höhe.

2) Der Wärmeaustausch Q_{12} zwischen der Luft im Rohr und der Umgebung auf der Strecke 1 bis 2 ist gleich null, der Wärmeinhalt der Luft i bleibt stets gleich.

Es bezeichnen

- w die mittlere Strömgeschwindigkeit in m/s an einer beliebigen Stelle der Leitung,
- g die Erdbeschleunigung $= 9{,}81$ m/s²,
- l die Rohrlänge in m,
- D den Rohrdurchmesser in mm,
- β eine Widerstandszahl in $\frac{s^2}{m}\frac{mm}{m}$,
- P den absoluten Flüssigkeitsdruck in kg/m²,
- v das spezifische Volumen in m³/kg,
- γ das spezifische Gewicht in kg/m³.

Mit einer für die gesamte Untersuchung genügenden Genauigkeit läßt sich der Druckabfall längs der Rohrstrecke 1 bis 2 durch die Gleichung darstellen

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2} = \beta \frac{P_1 \gamma_1 w_1^2 l}{D} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Führt man statt der Luftgeschwindigkeit w_1 das Luftgewicht G in kg/h ein, wobei

$$w_1 = \frac{353{,}7\, G}{D^2 \gamma_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

ist, und setzt man statt γ_1 das auf 1 at bezogene spezifische Gewicht $\gamma_{1\,at} = \gamma_1 \frac{10\,000}{P_1}$ ein, so lautet die Druckgleichung

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2} = \beta \frac{1{,}251 \cdot 10^9\, G^2\, l}{D^5\, \gamma_{1\,at}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3).$$

Für sehr geringen Druckabfall setzt man $P = \frac{P_1 + P_2}{2}$ und schreibt statt Gl. (1) den Druckabfall auf der Strecke 1 bis 2 in der bekannten Form

$$\Delta P = \beta \frac{\gamma\, w^2\, l}{D} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4).$$

Das Ähnlichkeitsgesetz.

Bei den verschiedensten Arten von Strömungsvorgängen hat sich die Anwendung des Ähnlichkeitsgesetzes auf die Auswertung von Versuchsergebnissen als sehr vorteilhaft erwiesen. Es liegt daher nahe, es auch auf den pneumatischen Fördervorgang anzuwenden[1]). Wir zerlegen den Fördervorgang in zwei Teilvorgänge, in die turbulente Grundbewegung der Luft im Rohr und die übergelagerte Bewegung des Gutes im Luftstrom. Für den erstgenannten Vorgang liefert das Ähnlichkeitsgesetz die bekannten Bedingungen (Reynold-Blasius):

$$\frac{w\,d}{\nu} = \text{konst. und } \varrho = \text{konst.} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5).$$

Hierbei bedeuten w die Strömgeschwindigkeit, d den Rohrdurchmesser, ν die kinematische Zähigkeit der Flüssigkeit und ϱ die relative Rauhigkeit des Rohres $= \dfrac{\text{absolute Rauhigkeit}}{\text{Rohrdurchmesser}}$.

Die Bewegung des Materiales im Luftstrom erfolgt unter dem Einfluß folgender Kräfte:

1) Schwerkraft von Material und Flüssigkeit (Auftrieb),
2) Trägheitskräfte des Materiales,
3) Flüssigkeitsdruckkräfte, die in jedem Punkt normal zur Berührungsfläche wirken und
4) aus der Relativbewegung zur Luft resultierende Oberflächenkräfte, und zwar
 a) Trägheitskräfte der strömenden Luft,
 b) tangential zur Berührungsfläche gerichtete Schubkräfte der zähen Flüssigkeit (= Flüssigkeitsreibung).

Die unter 3 und 4 genannten Kräfte sind von demselben Charakter wie die für die Strömung einer zähen Flüssigkeit in einer Rohrleitung in Frage kommenden. Für die als Gesamtwiderstand eines von einer Flüssigkeit umströmten Körpers zusammengefaßten Kräfte 3 und 4 gilt daher Gl. (5) als Ähnlichkeitsbedingung. Hierzu treten drei weitere Gleichungen, die sich aus den Gleichgewichtsbedingungen zwischen Schwerkraft, Trägheits- und Widerstandskräften ergeben und sich aus den Elementaransätzen für diese Kräfte ableiten lassen. Ohne an dieser Stelle näher darauf einzugehen[2]), sei nur auf das Endergebnis hingewiesen, daß sich die vier Gleichungen der Ähnlichkeitsbedingungen im allgemeinen physikalisch nicht erfüllen lassen. Auch gewisse Annäherungen, wie bei Modellversuchen oft zulässig, lassen sich nicht ohne wesentliche Vernachlässigungen erreichen. Will man z. B. die Vorgänge von Luft auf Wasser als Förderflüssigkeit übertragen, so müssen sich die spezifischen Gewichte der Versuchstoffe im Verhältnis der spezifischen Gewichte der Förderflüssigkeiten ändern. Das ist aber praktisch undurchführbar, da

$$\gamma_{\text{Wasser}} : \gamma_{\text{Luft}} = 840$$

ist und derartige Unterschiede im spezifischen Gewicht von Förderstoffen nicht verwirklicht werden können. Das Ergebnis der Ähnlichkeitsbetrachtungen führt somit zu einer wesentlichen Einschränkung in der zahlenmäßigen Übertragbarkeit experimenteller Ergebnisse auf beliebige Fördermaterialien und Förderflüssigkeiten.

II. Die Versuchseinrichtungen.

a) Die Versuchsanlage.

Zur Verfügung stand eine mit Saugluft arbeitende und mit einer Kolbenpumpe als Luftverdichter ausgerüstete Förderanlage von ungefähr 30 PS größtem Leistungsverbrauch. Die stündliche Förderleistung beträgt etwa 7000 kg/h Weizen für eine mittlere Förderlänge von 150 m. Die Versuchsanlage hatte eine Förderlänge von insgesamt 110 m mit zwei etwa 50 m langen, geraden, wagerechten Teilstrecken, die durch zwei Krümmer und eine nur wenige Meter hohe Steigleitung gemäß Abb. 1 verbunden waren. Der Durchmesser der Förderleitung ist abgestuft, die ersten 47 m beträgt er 89 mm l. W., von da bis zum Ende 95 mm l. W.

Die Förderluft tritt aus der Atmosphäre zunächst in die mit einer abgerundeten Düse b versehene Luftmeßleitung a, durch ein Regelventil e in den Ausgleichbehälter d von 4,22 m³ Inhalt und weiter in die eigentliche Förderleitung c. Am Ende der Förderleitung c befindet sich der Gutabscheider f, aus dessen oberem Teil die Luft durch die Saugleitung g der Luftpumpe gesaugt wird. Vor der Luftpumpe h ist ein zweiter Ausgleichbehälter i von 4,25 m³ Inhalt eingeschaltet, der durch eine Kurzschlußleitung k mit dem Behälter d verbunden werden kann und zur getrennten Untersuchung der Luftpumpe h mit einer besonderen Luftmeßleitung l ausgerüstet ist.

Das Gut strömt im Kreislauf durch die Förderleitung c. Es tritt an der Einlaufstelle o durch einen Zulaufstutzen in die Förderleitung und wird im Gutabscheider f aus der Förderluft wieder abgeschieden. Durch ein luftdicht laufendes Zellenrad (Schleuse q) fällt es in den Sammelbehälter p und von da in die

[1]) Vergl. Blasius, Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten, Forschungsheft 131. Föppl, Technische Mechanik, Bd. IV. M. Weber, Die Grundlagen der Ähnlichkeitsmechanik, Jahrb. der Schiffbautechn. Gesellschaft 1919.

[2]) Vergl. Forschungsheft 265.

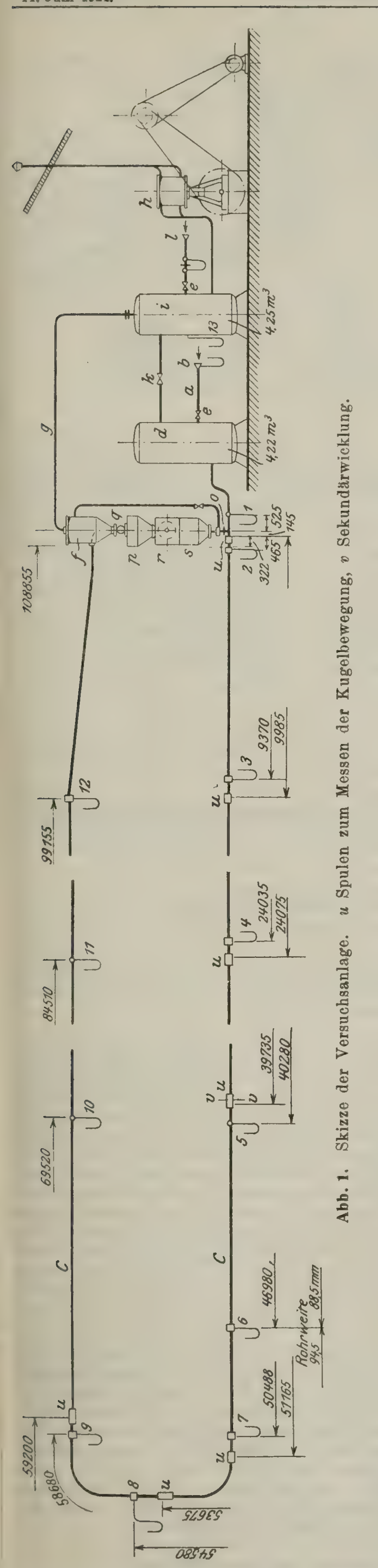


Abb. 1. Skizze der Versuchsanlage. *u* Spulen zum Messen der Kugelbewegung, *v* Sekundärwicklung.

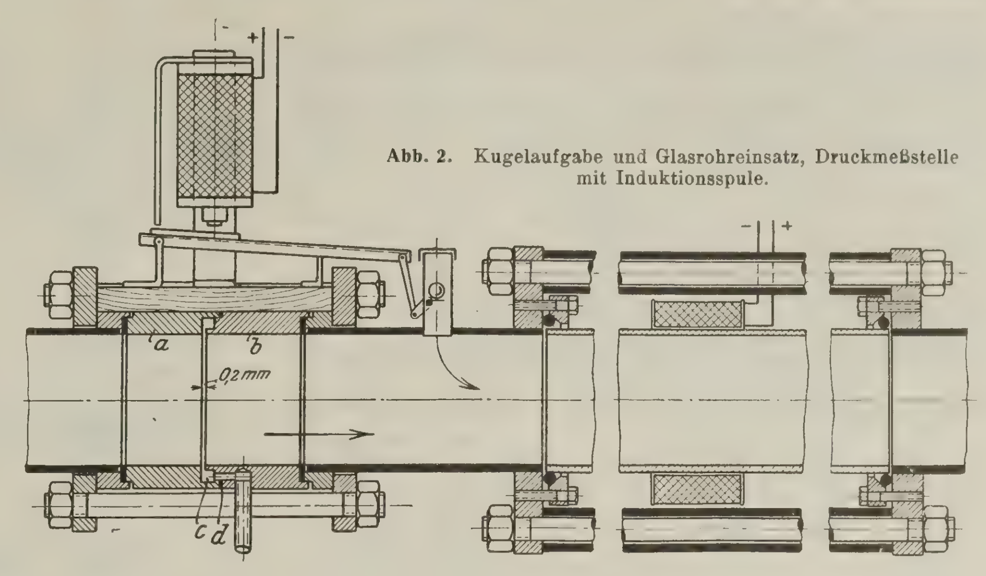


Abb. 2. Kugelaufgabe und Glasrohreinsatz, Druckmeßstelle mit Induktionsspule.

selbsttätig aufzeichnende Wage *r*. Diese kippt das Gut in den unteren Sammelbehälter *s*, der mit einem Absperrschieber versehen ist.

b) Die Meßeinrichtungen.

1. Die Druckmessung.

Die gesamte Förderleitung ist durch dreizehn Druckmeßstellen gemäß Abb. 1 unterteilt. Die Druckentnahme erfolgte durch eine besondere, an der Meßstelle eingebaute Druckkammer, deren Wirkungsweise die Abb. 2 zeigt. Die beiden gußeisernen Buchsen *a* und *b* werden hier zwischen die beiden Bordringe eines Rohrstoßes eingesetzt. In die Buchse *a* ist die eigentliche Druckkammer *c* eingedreht. Durch Einlegen einer Bleiringdichtung *d* entsteht ein feiner Ringspalt, durch den ein Druckausgleich zwischen Kammer und Rohr herbeigeführt wird, ohne daß selbst bei stärkster Staubentwicklung und kleinkörnigem Gut die Druckentnahmestelle verstopft wird.

2. Messung der Luftmengen.

Verfahren zur Bestimmung der Förderluft.

Da ein Messen der Luftmenge innerhalb der eigentlichen Förderleitung *c*, Abb. 1, wegen des mitgeführten Gutes ausgeschlossen ist, so bestimmt man sie zweckmäßig in einer vor den Einlauf des Gutes geschalteten Meßleitung *a* in Abb. 1. Man muß dann aber verhindern, daß mit dem einlaufenden Gut noch ein nennenswerter Betrag an Luft hinzutritt. Dies wird durch den in die Materialaufgabe eingebauten Luftabscheider erreicht, Abb. 3, durch den die aus dem Behälter *a* einströmende Luft vor Eintritt in die Förderleitung wieder abgesaugt wird. Mit Hilfe einer Absaugleitung *c* und dem Drosselventil *d* wird der Unterdruck im Luftabscheider auf gleiche Höhe mit dem Unterdruck in der Zulaufdüse *b* eingeregelt. Das Ausgleichmanometer *e* dient zur Beobachtung des vollkommenen Druckausgleiches zwischen den Meßstellen *f* und *g*. Durch eingelassene Rauchfäden konnte beobachtet werden, daß tatsächlich keine nennenswerten Luftmengen mehr aus dem Behälter *a* durch die Zulaufdüse *b* hindurchströmten. Die Messung der Luft in der Meßleitung *a*, Abb. 1, erfolgte entweder mit einer vorgeschalteten abgerundeten Düse von 70 mm l. W. oder mit einer eingesetzten Stauscheibe Bauart Brandis von 150 mm äußerem und 107 mm innerem Durchmesser. Diese konnte für kleinere Luftmengen durch eine Stauscheibe von 100/71 mm l. W. ersetzt werden. Sämtliche drei Meßgeräte waren nach dem Verfahren von Jakob[1]) mit Hilfe eines glatten Rohres geeicht.

Verfahren zur Bestimmung der schädlichen Luft.

Schädliche Luft tritt durch Undichtheiten der Leitungen und der Apparate sowie hauptsächlich durch den unvollkommenen Luftabschluß des beweglichen Schleusenrades ein. Um diese Verluste im einzelnen zu messen, werden einer oder beide Windkessel *d* und *i*, Abb. 1, mit dem auf Dichtheit zu untersuchenden Teil der Anlage gesondert in Verbindung gebracht. Dann wird der Windkessel auf 400 bis 500 mm Q.-S. Unterdruck leer gepumpt und durch die aus den Undichtheiten einströmende Luft mehr oder weniger rasch wieder aufgefüllt. Hierbei wird die Druckzunahme im Windkessel in Abhängigkeit von der Zeit (z. B. Ablesung alle 10 s) beobachtet. Falls der Temperaturanstieg im Innern des Kessels beim Auffüllen vernachlässigt werden kann

[1]) Z. Bd. 66 (1922) S. 178: Über die Bestimmung strömender Gas- und Flüssigkeitsmengen aus dem Druckabfall in glatten Rohren. Siehe auch Forschungsheft 267.

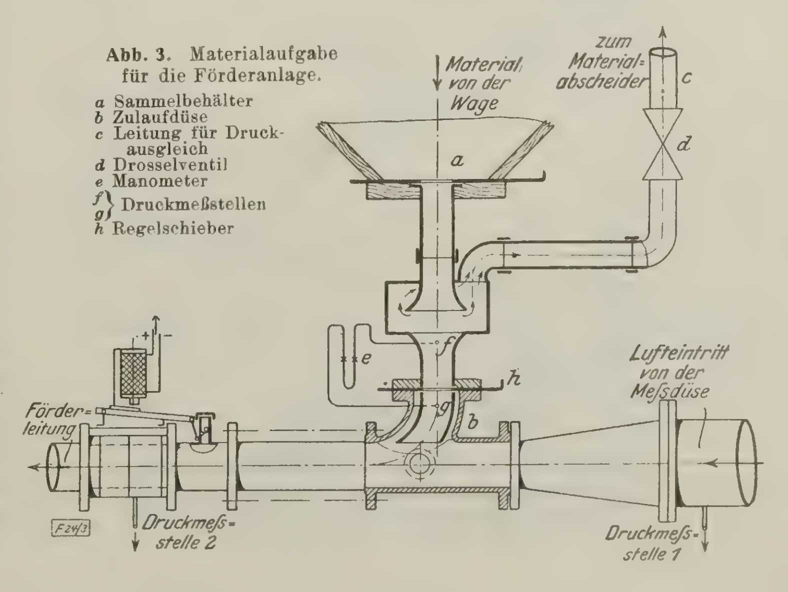


Abb. 3. Materialaufgabe für die Förderanlage.
a Sammelbehälter
b Zulaufdüse
c Leitung für Druckausgleich
d Drosselventil
e Manometer
f, *g* Druckmeßstellen
h Regelschieber

(beim Versuch durch eingebaute Thermoelemente geprüft), ergibt sich eine einfache Berechnung des sekundlich einströmenden Luftgewichtes G_s.

In einem beliebigen Zeitpunkt z (s) befinde sich die Luftmenge G kg im Windkessel (einschließlich der angeschalteten Leitungsteile); sodann ist

$$G = \frac{PV}{RT} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (6).$$

Mit $V =$ konst. und $T =$ konst. ergibt sich

$$G_s = \frac{dG}{dz} = \frac{dP}{dz}\frac{V}{RT} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (7).$$

Man setzt praktisch statt des Differentialquotienten $\frac{dP}{dz}$ den Differenzenquotienten $\frac{\Delta P}{\Delta z}$ und ersetzt ΔP durch die Änderung des Unterdruckes Δh in mm Q.-S., wobei $\Delta P = 13{,}6\ \Delta h$. Es genügt z. B. $\Delta z = 10$ s zu wählen. In Abb. 4 ist der Unterdruck h_0 im Windkessel über der Auffüllzeit z und ebenso Δh für zwei Versuche dargestellt, die zur Bestimmung der Gesamtundichtheiten der Förderanlage dienten. In Abb. 5 ist Δh und das berechnete sekundlich einströmende Luftgewicht G_s über dem Unterdruck h_0 aufgetragen.

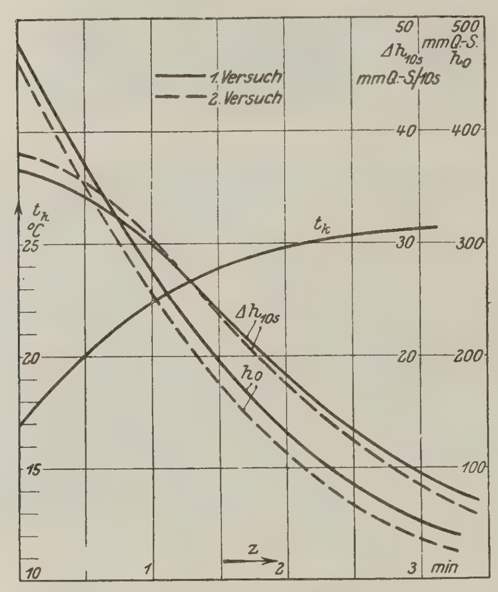


Abb. 4. Unterdruck h_0, Geschwindigkeit der Druckzunahme Δh_{10_s} und Temperatur im Windkessel über der Einströmzeit z.

3) Messung der Kornbewegung.

Einzelbahn einer Kugel.

Bewegt sich ein Eisenteilchen durch ein magnetisches Feld, so wird das Feld durch diese Bewegung gestört und es tritt eine augenblickliche Feldveränderung ein. Bringt man in dieses Feld eine Spule, so wird durch die Feldveränderung in den Windungen eine elektromotorische Kraft induziert, bzw. in einem geschlossenen Kreis ein Stromstoß erzeugt.

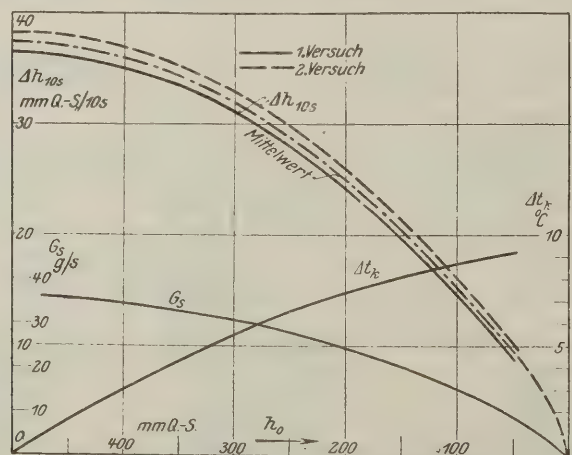


Abb. 5. Geschwindigkeit der Druckzunahme Δh_{10_s}, der sekundlich einströmenden Luftmenge G_s und der Temperaturerhöhung Δt_k, dargestellt über dem Unterdruck (Vakuum) im Windkessel.

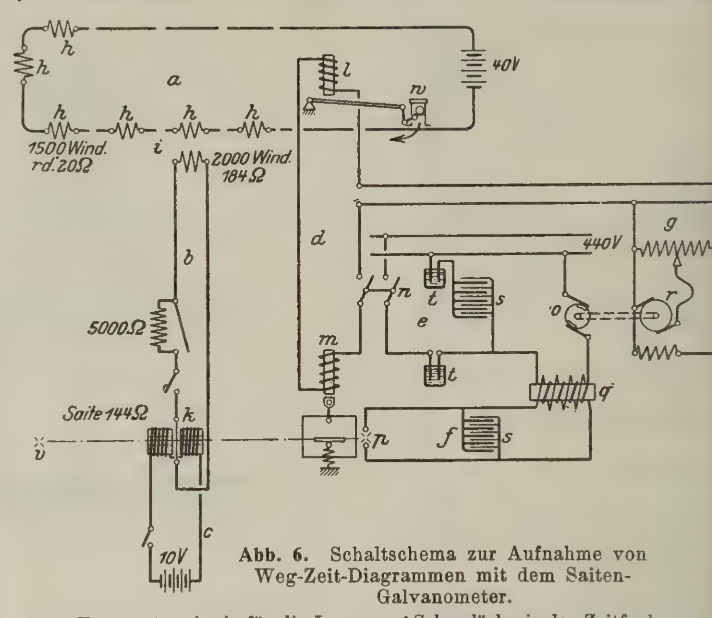


Abb. 6. Schaltschema zur Aufnahme von Weg-Zeit-Diagrammen mit dem Saiten-Galvanometer.

a Erregerstromkreis für die Induktionsspulen *h*
b Sekundärkreis zum Saitengalvanometer *k*
c Erregerstrom für das Feld des Saitengalvanometers
d Schaltkreis für die Hubmagneten zur Fallklappe *l* zum Schlitzverschluß vor der Kassettentrommel *m*
e Primärkreis des Zeitfunkeninduktors
f Sekundärkreis des Zeitfunkeninduktors
g Leitung zum Antriebmotor für den rotierenden Unterbrecher
n Schalttaste für Stromkreis *d* u. *e*
o rotierender Unterbrecher für den Zeitfunken *p*
q Funkeninduktor
r Antriebmotor für *o*
s Kondensator
t Wasserwiderstände
v Lichtquelle
w Fallrohr

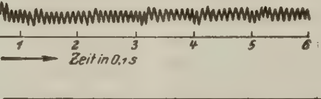
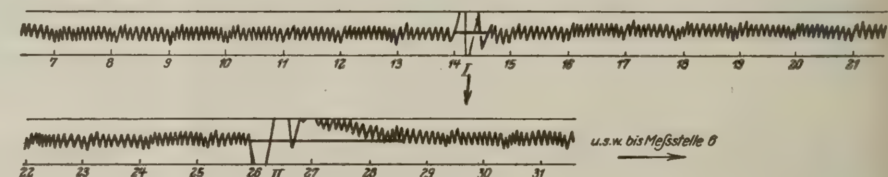


Abb. 7. Zeit-Weg-Diagramm einer Versuchskugel.



Aus dieser Erscheinung läßt sich ein Verfahren entwickeln, um die Bewegung eines einzelnen Kornes in einer geschlossenen Rohrleitung zu verfolgen:

Man verwendet zu diesem Zweck ein Meßkorn, das nach Größe, Form und spezifischem Gewicht dem zu untersuchenden Material gleicht und aus Weicheisenblech hergestellt ist oder einen kleinen Weicheisenkern enthält. Auf die Rohrleitung bringt man eine Anzahl Spulen *u*, Abb. 2, *h*, Abb. 6, die man zu einem Erregerstromkreis zusammenschließt. Auf einer dieser Spulen ordnet man eine Sekundärwicklung an, Spule *i* (*v* in Abb. 2), die die Stromstöße auf ein hochempfindliches Galvanometer *k* überträgt. Bei Verwendung eines Saitengalvanometers von sehr kleiner Masse der Saite ruft jeder derartige Stromstoß ein kurzes heftiges Zucken der Saite hervor, das sich auf photographischem Wege auf einem rasch laufenden Papierstreifen festhalten läßt, wobei in regelmäßigen Abständen die Zeit mit aufgezeichnet werden muß. Auf diese Weise erhält man ein Diagramm von der Bewegung des Meßkornes durch die ganze Rohrleitung. Durch eine starke Lichtquelle wird unter vielfacher Vergrößerung ein Schattenbild der Galvanometersaite entworfen, von dem wiederum nur ein punktförmiger Ausschnitt durch den schmalen Spalt einer Kassette auf eine mit lichtempfindlichem Papier bespannte bewegliche Trommel fällt. Das Schattenbild der in Ruhe befindlichen Saite zeichnet auf dem Papier eine Schraubenlinie auf, die sich bei der Abwicklung als fortlaufende Gerade darstellt, und auf der ein Ausschlag des Fadens sich als Schwingung aufzeichnet, Abb. 7. Die Zeitmarkierung erfolgt durch einen elektrischen Funken, dessen Bild als Punkt dicht neben dem Schattenbild der Galvanometersaite entworfen wird.

4) Die Bewegung des Materialstromes.

Mit Hilfe von photographischen Funkenaufnahmen ist es möglich, Aufschluß über die Gut- und Geschwindigkeitsverteilung im Rohrquerschnitt zu erhalten. Macht man durch ein in die Leitung eingebautes Glasrohr hindurch in rascher Folge

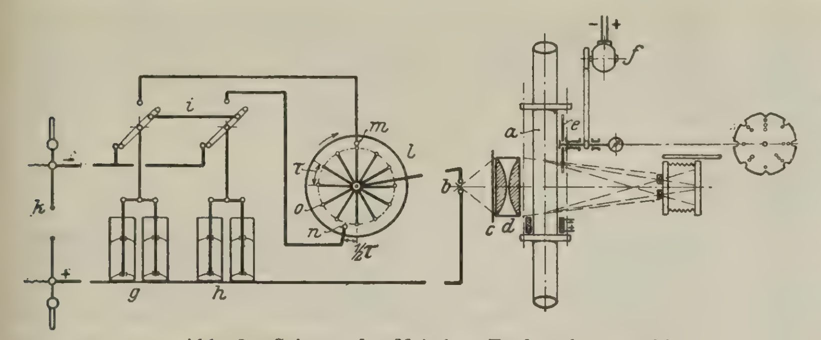


Abb. 8. Schema der Mehrfach-Funkenphotographie.

a Glasrohr
b Belichtungsfunken
c Mattglasscheibe
d Kondenser
e Zeitscheibe
f Antriebmotor
g u. *h* Batterien, Leydener Flaschen
i Umschalter
k Influenzmaschine
l Regler für die Funkenfolge
m u. *n* feststehende Kontakte
o umlaufende Kontakte

eine Anzahl Aufnahmen von dem hindurchströmenden Gut, so kann man aus der veränderten Lage des einzelnen Kornes in aufeinanderfolgenden Bildern das Bahnelement, und wenn geichzeitig der Zeitabstand der Bilder gemessen wird, seine augenblickliche Geschwindigkeit bestimmen. Um das einzelne Korn in nacheinander folgenden Lagen wieder zu erkennen, muß das Bild Tiefenwirkung haben, d. h. stereoskopisch aufgenommen sein. Begnügt man sich mit zwei Aufnahmen auf ein und derselben Platte und wählt den zeitlichen Abstand zwischen den beiden Belichtungen so, daß das Bahnelement etwa gleich der zwei- bis dreifachen Korngröße wird, so läßt sich das einzelne Korn in seinen zwei Lagen selbst bei ziemlich dicht gehäuftem Fördergut stereoskopisch gut herausfinden und das Bahnelement ausmessen. Die Zeit zwischen zwei Belichtungen kann durch Aufnahme einer gleichmäßig umlaufenden Scheibe gemessen werden, deren Winkelstellung durch eine Anzahl verschiedenartiger Kerben auf ihrem Umfang erkenntlich ist. Eine solche Kerbe erscheint bei einer Doppelaufnahme in zwei verschiedenen Stellungen auf ein und derselben Platte, aus dem zurückgelegten Winkelweg und der bekannten Drehzahl der Zeitscheibe ergibt sich der zeitliche Abstand der Belichtungen. Das gesamte Schema der funkenphotographischen Einrichtung zeigt Abb. 8. Die Regelung des zeitlichen Abstandes der beiden Belichtungsfunken erfolgt durch den rotierenden Unterbrecher *l*, der die beiden Batterien *g* und *h* nacheinander über die Belichtungsstrecke *b* zur Entladung bringt. Die Belichtungsdauer beträgt etwa $^1/_{500\,000}$ s, der Abstand zwischen zwei Belichtungen $^1/_{1000}$ bis $^1/_{2000}$ s.

III. Die Versuchsergebnisse.

1. *Der Druckabfall in der Förderleitung für reine Luft und die Widerstandszahl β.*

Für den Druckabfall in der Leitung und deren Widerstandszahl β ist die Oberflächenbeschaffenheit der Wandung maßgebend. Diese muß sich unter dem Einfluß der Materialförderung verändern, das Rohr wird um so glätter, je länger das Fördergut hindurchgegangen ist. Bevor daher überhaupt mit der Messung des Druckabfalles begonnen wurde, mußte der Rostansatz und Zunder in den Rohren entfernt werden, um dem Zustand der Rohre im Dauerbetrieb nahe zu kommen. Zu diesem

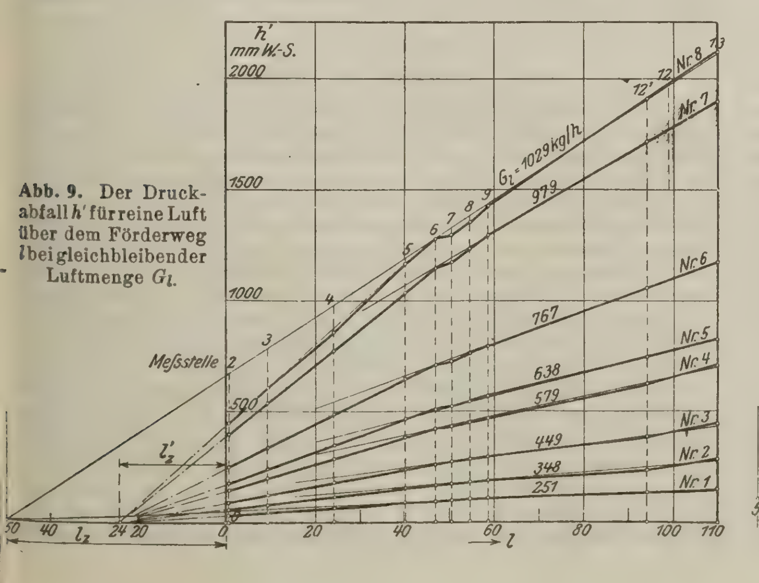


Abb. 9. Der Druckabfall h' für reine Luft über dem Förderweg l bei gleichbleibender Luftmenge G_l.

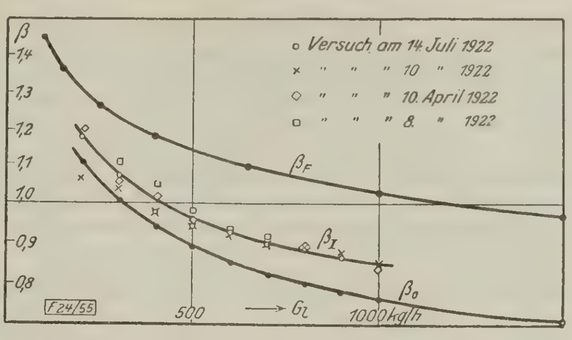


Abb. 10. Widerstandszahl β_I über der stündlichen Luftmenge G_l für die wagerechte Einleitung. Meßstelle 2 bis 6. $D_I = 89$ mm l. W.

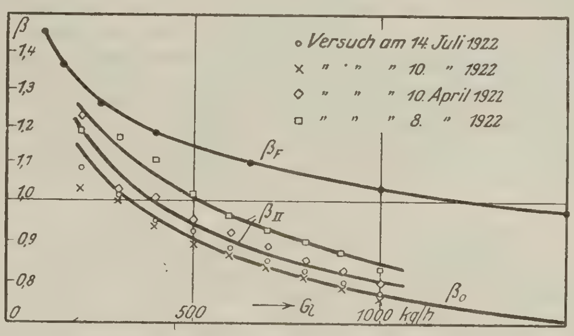


Abb. 11. Widerstandszahl β_{II} über der stündlichen Luftmenge G_l für die wagerechte Rückleitung. Meßstelle 9 bis 12. $D_{II} = 95$ mm l. W.

Zwecke wurde zunächst mehrere Stunden lang scharfkörniger Flußsand gefördert und die Leitungen dadurch ausgeschliffen. Hierauf erfolgte die erste Druckmessung; danach wurde nochmals kräftig mit Sand ausgeschliffen und die zweite Versuchsreihe aufgenommen. Das Ergebnis dieser Messung war der Nachweis, daß die Förderleitung ein „praktisch glattes" Rohr ist, dessen Widerstandszahl sich nicht wesentlich von der aus den Jakobschen Konstanten für glatte Rohre berechneten unterscheidet. Um festzustellen, ob sich der Rohrzustand nach einer längeren Förderzeit merklich änderte, wurden später noch zwei Versuchsreihen aufgenommen.

Abb. 9 zeigt den Druckabfall in der Leitung für verschiedene Luftmengen. Der Knick der Kurven an der Meßstelle 6 rührt von dem sprunghaften Übergang des Rohrdurchmessers von 89 auf 95 mm l. W. her. Eine solche Durchmesserabstufung wird bekanntlich in der Praxis gewählt, um der starken

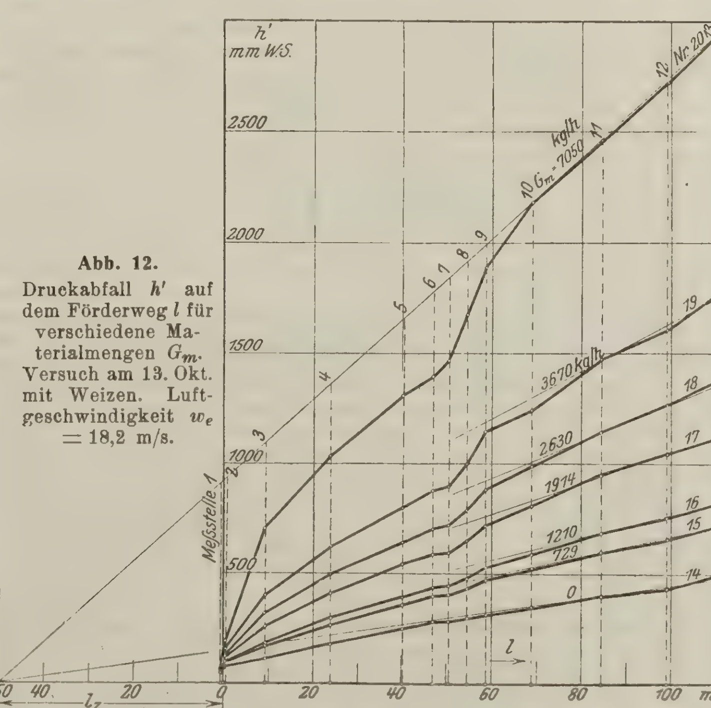


Abb. 12. Druckabfall h' auf dem Förderweg l für verschiedene Materialmengen G_m. Versuch am 13. Okt. mit Weizen. Luftgeschwindigkeit $w_e = 18{,}2$ m/s.

Luftexpansion in der Leitung Rechnung zu tragen. Abb. 10 und 11 geben die aus den Messungen berechneten Widerstandszahlen β_I für $D_I = 89$ mm und β_{II} für $D_{II} = 95$ mm nach Gl. (3) wieder. Zum Vergleich ist β_0 für vollkommen glatte Rohre nach Jakob (Z. Bd. 66 [1922] S. 178) und β_F für Rohre mittlerer Rauhigkeit nach Fritzsche („Hütte" Bd. I) mit dargestellt. Die Werte der ersten Versuchsreihe für β_{II} liegen durchweg um einige Hundertteile höher als die übrigen, woraus zu schließen ist, daß diese Rohrstrecke durch das zweite Ausschleifen mit Sand noch wesentlich geglättet wurde.

2. Der spezifische Druckabfall bei Materialförderung.

Die Versuche bezweckten, den Einfluß des Mischungsverhältnisses μ und der Fördergeschwindigkeit w auf den spezifischen Druckabfall π in der Leitung festzustellen. Die Versuchsergebnisse findet man im Forschungsheft 265. Hier soll lediglich auf die aus dem Gesamtergebnis gewonnene Gesetzmäßigkeit des spezifischen Druckabfalles kurz eingegangen werden. Die Versuche wurden für Lufteintrittsgeschwindigkeiten von 12 bis 28 m/s durchgeführt. Die untere Grenze ergibt sich aus der Forderung, daß überhaupt noch Fördergut ohne Ablagerung gefördert wird, die obere mit Rücksicht auf die verfügbare Motorkraft, Leistungsfähigkeit der Pumpe und das rasche Zerschlagen des Getreides bei hohen Fördergeschwindigkeiten.

hältnis μ auf, Abb. 13 und 14, so erkennt man, daß für eine bestimmte Lufteintrittsgeschwindigkeit w_e, d. h. für gleichbleibende Luftmenge G_l der spezifische Druckabfall π eine lineare Funktion des Mischungsverhältnisses μ ist. Bezeichnet α den Neigungswinkel dieser Geraden, Abb. 13 und 14, so ist

$$\pi = 1 + \mu \operatorname{tg} \alpha .$$

Die Abbildungen 13 und 14 lehren ferner, daß $\operatorname{tg} \alpha$ eine Funktion der Luftgeschwindigkeit ist. Der spezifische Druckabfall π ist um so höher, je mehr man sich bei der Förderung jener Grenzgeschwindigkeit nähert, bei der überhaupt noch ein Fördern ohne Ablagern möglich ist. Dies ist durch die zunehmende Berührung zwischen Fördergut und Wandung ohne weiteres erklärlich. Sobald aber mit steigender Fördergeschwindigkeit das „Ausfallen" des Materiales aus dem Luftstrom aufhört, nimmt auch der Einfluß der Fördergeschwindigkeit auf den spezifischen Druckabfall sehr rasch ab. Schon bei Geschwindigkeiten über 20 m/s fallen die Geraden praktisch zusammen, Abb. 13 und 14.

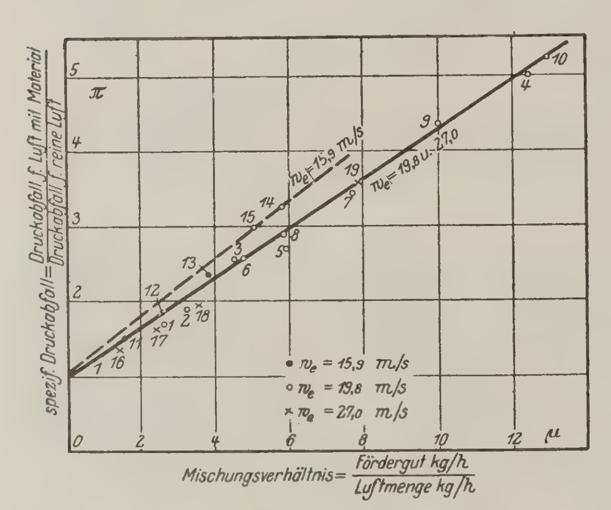


Abb. 13. Der spezifische Druckabfall π über dem Mischungsverhältnis μ. Versuche vom 12. bis 17. April 1922 mit Wickenbruch.

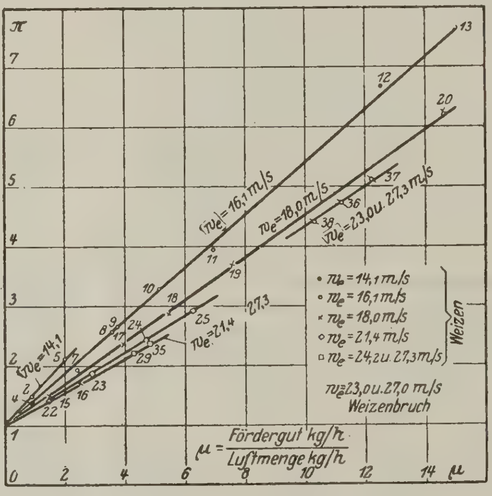


Abb. 14. Der spezifische Druckabfall π über dem Mischungsverhältnis

$$\mu = \frac{\text{Druckabfall für Luft mit Material}}{\text{Druckabfall für reine Luft}}$$

Abb. 15. Kegeliges Steigrohr zur Messung der Schwebegeschwindigkeit.

Abb. 12 zeigt für eine Versuchsreihe mit Weizen den Druckabfall h' über dem Förderweg l bei gleichbleibender Lufteinzugsgeschwindigkeit $w_e = 18{,}2$ m/s und für Materialmengen von 0 bis 7050 kg/h. Man erkennt den starken Druckabfall am Anfang des Förderweges, d. h. auf der Beschleunigungsstrecke. Am Ende der Hinleitung, Meßstelle 6, wo der Durchmesser der Leitung von 89 auf 95 mm springt, setzt auch der Druckabfall sofort aus und wächst in den Krümmern und der Steigleitung, Meßstelle 7 bis 9, verstärkt an. Im ersten Teil der wagerechten Rückleitung, Meßstelle 9 bis 10, ist noch Beschleunigungsarbeit zu leisten und ein entsprechend erhöhter Druckabfall zu erkennen, da sich das Material mit stark verminderter Geschwindigkeit durch Krümmer und Steigleitung bewegt. Um sich bei der weiteren Untersuchung von den verschiedenartigen Einflüssen der mehr oder weniger Widerstand bietenden Einzelstrecken, besonders aber von der verschiedenen Rohrweite auf Hin- und Rückweg, frei zu machen, wird der Gesamtdruckabfall zweckmäßig auf eine wagerechte Rohrleitung von gleichbleibendem Durchmesser zurückgeführt. Zu diesem Zweck ist aus der Darstellung des Druckabfalles für reine Luft, Abb. 9, die gesamte Hin- und Steigleitung einschließlich der vorgeschalteten Meßleitung durch eine gleichwertige Rohrstrecke l_{ae} vom Durchmesser der Rückleitung ($D_{II} = 95$ mm) ersetzt. Nimmt man an, daß der Druck bei gleichbleibendem Durchmesser geradlinig mit der Rohrlänge abfällt, so läßt sich ein einfaches zeichnerisches Verfahren durch Ermittlung der zusätzlichen Rohrstrecke l_z, Abb. 9, für die Zurückführung auf gleichen Durchmesser anwenden. l_z ergibt sich mit befriedigender Genauigkeit für die verschiedensten Fördermengen zu 50 m, Abb. 9 und 12. Berechnet man aus dem Druckabfall mit und ohne Fördergut für die einzelnen Versuchsreihen den spezifischen Druckabfall π und trägt ihn über dem Mischungsver-

Nachdem so ein einfacher Zusammenhang zwischen Druckabfall und Mischungsverhältnis durch die vorliegenden Versuche nachgewiesen ist, wird es sich bei den inzwischen in Angriff genommenen weiteren Versuchen darum handeln, den Einfluß der übrigen Versuchsveränderlichen, hauptsächlich der Luftdichte, des Rohrdurchmessers und der Materialbeschaffenheit zu bestimmen. Dieser Ausbau der Versuche ermöglicht alsdann eine Übertragung von Zahlenwerten des Druckabfalls auf beliebige Betriebsverhältnisse.

3. Die Kornbewegung.

a) Die Einzelbahn einer Kugel.

In einer senkrechten Rohrleitung steht die zur Fortbewegung eines Kornes erforderliche Luftgeschwindigkeit in einem sehr einfachen Verhältnis zu seiner Schwebegeschwindigkeit. Es muß im Beharrungszustand das Eigengewicht des Kornes, vermindert um seinen Auftrieb, durch die aus der Relativgeschwindigkeit zwischen Luft und Korn sich ergebenden Kräfte aufgehoben werden. — Die folgende Untersuchung dient der Frage, ob eine ähnliche Gesetzmäßigkeit auch bei der Bewegung in einer wagerechten Leitung besteht. Um einfache geometrische Beziehungen zu erhalten, wurden die Versuche mit Hohlkugeln angestellt. Ihr Durchmesser wurde zwischen 7 und 20 mm, das spezifische Gewicht zwischen 0,8 und 3,0 verändert.

Die Schwebegeschwindigkeit der Versuchskugeln wurde einerseits berechnet, anderseits durch Versuche bestimmt. Der Berechnung wurde die von der Göttinger Versuchsanstalt ermittelte Widerstandzahl ψ zugrunde gelegt (Z. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt 1914 S. 140, „Hütte" I).

Es bezeichne W den Widerstand der Kugel in kg, d den Durchmesser in m, w_r die Relativgeschwindigkeit zwischen

Kugel und Luft in m/s, γ_k und γ_l das spezifische Gewicht der Kugel bzw. der Luft in t/m³ bzw. in kg/m³, G das Eigengewicht der Kugel in kg. Es ist

$$W = \psi \frac{\pi d^2}{4} \frac{w_r^2 \gamma_l}{g} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (8)$$

und

$$G = \gamma_k \frac{\pi d^3}{6} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (9).$$

Für die Schwebegeschwindigkeit w_s wird $W = G$. Setzt man aus Gl. (8) und (9) die Werte für W und G ein und löst nach w_s auf, so ergibt sich

$$w_s = \sqrt{\frac{2g}{3} d \frac{\gamma_k}{\gamma_l} \frac{1}{\psi}}.$$

Mit $g = 9{,}81$ m/s², $\psi = 0{,}23$ und d in mm, wird

$$w_s = \sqrt{0{,}0284\, d \frac{\gamma_k}{\gamma_l}} \quad \ldots \ldots \ldots (10).$$

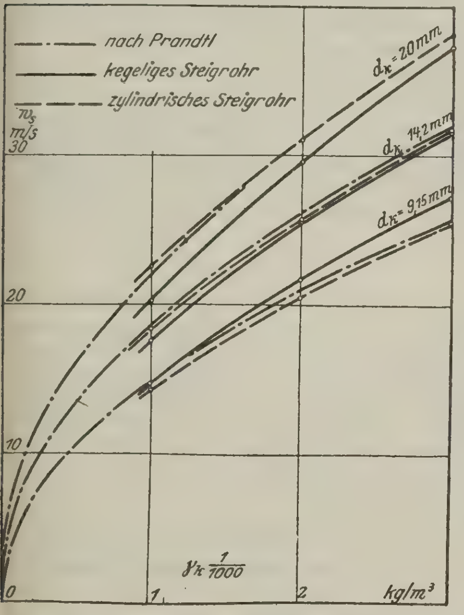


Abb. 16. Die Schwebegeschwindigkeit von Kugeln von verschiedenem spezifischen Gewicht γ_k und Durchmesser d_k.

Nach dieser Gleichung wurde die Schwebegeschwindigkeit für eine Reihe von Versuchskugeln und für ein spezifisches Gewicht der Luft von 1,18 kg/m³ berechnet. Außerdem wurden zwei Meßverfahren zur Ermittlung von w_s angewandt. Bei der Messung im zylindrischen Steigrohr wurden die Versuchskugeln im Steigrohr der Förderleitung (Glasrohreinsatz nach Abb. 2) an einem Haar so aufgehängt, daß sie sich gerade in der Rohrmitte befanden. Unter allmählicher Steigerung der Luftgeschwindigkeit wurden die Kugeln so lange angeblasen, bis sie auf dem Luftstrom zu tanzen anfingen. Aus dem Rohrquerschnitt, der Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt, der sekundlich durchströmenden Luftmenge und der Luftdichte läßt sich die Luftgeschwindigkeit in der Rohrachse an der Beobachtungsstelle berechnen. Sämtliche Versuchswerte wurden auf ein mittleres spezifisches Gewicht der Luft von 1,18 kg/m³ umgerechnet.

Dies Verfahren läßt sich nicht für kleinkörniges und nicht für beliebig geformtes Material, z. B. Weizen, anwenden. Durch die Aufhängung ist der Versuchskörper daran gehindert, sich im Luftstrom frei einzustellen. Körner von unsymmetrischer Form setzen sich unter dem Einfluß des Luftstromes in eine dauernde Drehbewegung, wenn sie frei schweben können, und bieten hierbei dem Luftstrom einen periodisch wechselnden Widerstand, dessen Mittelwert der gesuchten mittleren Schwebegeschwindigkeit des Materials entspricht. Zu deren Messung diente folgende einfache Versuchseinrichtung: In eine senkrechte Steigleitung wird ein sich nach oben schwach kegelig erweiterndes Glasrohr von möglichst regelmäßiger Form und genügender Länge eingebaut, Abb. 15. Stimmt man die durch das Steigrohr strömende Luftmenge auf die Schwebegeschwindigkeit des jeweiligen Versuchskörpers ab, so stellt sich dieser mit einer bisweilen überraschenden Genauigkeit auf eine bestimmte Steighöhe im kegeligen Rohre ein. Bei Materialien, deren Schwebegeschwindigkeit je nach der Anblaserichtung des Kornes stark wechselt, tritt ein Auf- und Absteigen zwischen einer oberen und unteren Grenzlage ein. In Abb. 16 ist für Kugeln von verschiedenem Durchmesser und verschiedenem spezifischen Gewicht die Schwebegeschwindigkeit auf Grund von Versuchsergebnissen nach beiden Meßverfahren zusammen mit den nach Gl. (10) berechneten Werten dargestellt. Die Übereinstimmung ist befriedigend. Außer für die Versuchskugeln wurde die Schwebegeschwindigkeit für eine Reihe andrer Fördermaterialien im kegeligen Steigrohr ermittelt (s. Forschungsheft 265 S. 50).

Nachdem so die Schwebegeschwindigkeit der Kugeln für jede Luftdichte ermittelt war, galt es, ihre Relativgeschwindigkeit im Lauf durch die Förderleitung zu messen. Hierzu dienten die mit Hilfe des Saitengalvanometers aufgenommenen Zeit-Weg-Diagramme, deren Aufnahmeverfahren im Abschnitt II unter 4) näher beschrieben ist. Um den Einfluß der Luftgeschwindigkeit, des spezifischen Gewichts und der Größe der Kugel festzustellen, wurden etwa 118 Originaldiagramme, Abb. 7, ausgewertet. Abb. 17 gibt einige der Zeit-Weg-Diagramme für Kugeln von etwa 11 mm Dmr. wieder.

Die weitere Auswertung, für die von jedem Diagramm nur die Meßstrecke 2 bis 3 herausgegriffen wurde, erfolgte zunächst

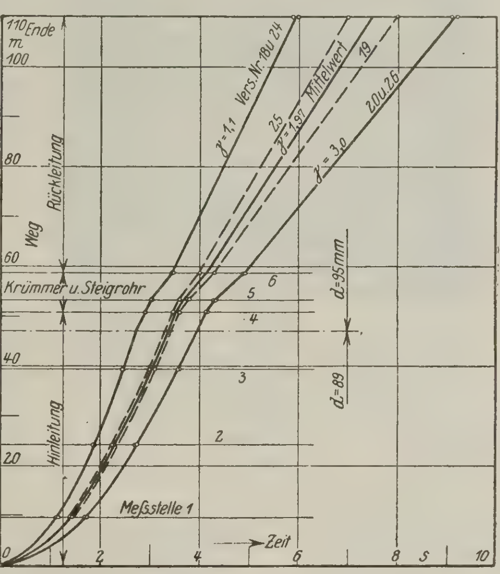


Abb. 17. Zeit-Weg-Diagramme von Kugeln, $d_k \sim 11$ mm Dmr; $w_e = 32$ m/s.

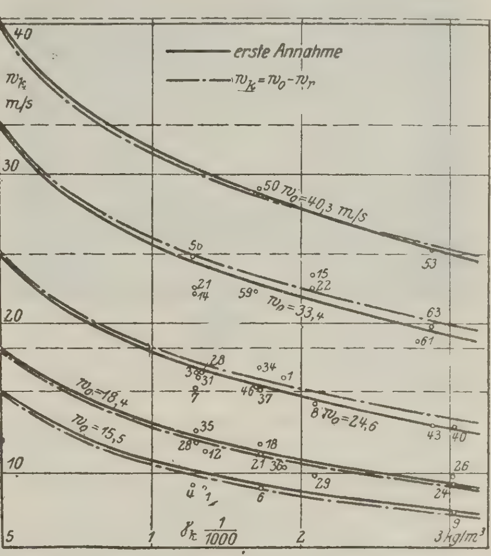


Abb. 18. Kugelgeschwindigkeit w_k über dem spezifischen Gewicht der Kugel γ_k für verschiedene Luftgeschwindigkeiten w_0; $d_k \sim 11$ mm Dmr.

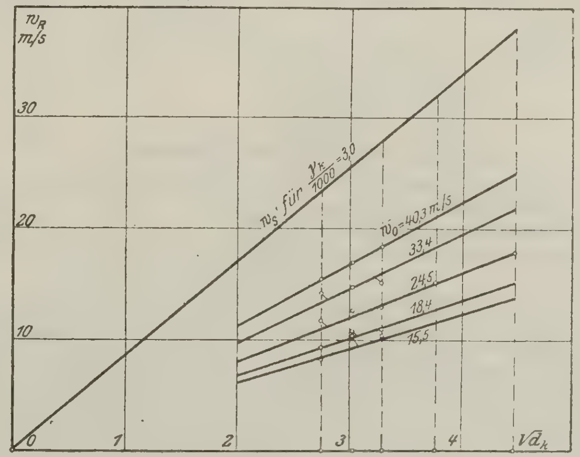


Abb. 19. Relative Kugelgeschwindigkeit w_r in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser $\left(\sqrt{d_k}\right)$ für verschiedene Luftgeschwindigkeiten w_0 und stets gleiches spezifisches Gewicht der Kugel (γ_k).

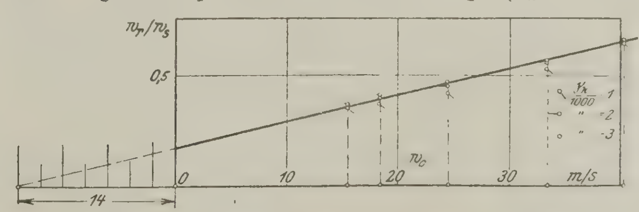


Abb. 20. Verhältnis zwischen der relativen Kugelgeschwindigkeit w_r und der Schwebegeschwindigkeit w_s, abhängig von der Luftgeschwindigkeit w_0.







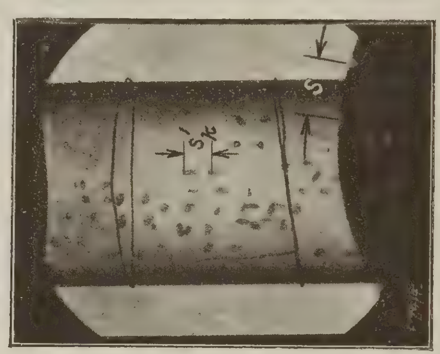


Abb. 21. Materialverteilung über den Rohrquerschnitt; Wickenbruch, Menge ~ 3000 kg/m, Luftgeschwindigkeit ~ 20 m/s.

Abb. 22. Bahnrichtung und Geschwindigkeit der Körner; Weizen, Luftströmgeschwindigkeit $w_e = 20{,}6$ m/s, Mischungsverhältnis $\mu = 1{,}21$, Materialmenge $G_m = 670$ kg/m, Zeitabstand der Funken $\Delta t = \frac{0{,}688}{1000}$ s.

zeichnerisch, später machte Prof. E. Trefftz, Dresden, durch einen analytischen Ansatz den Bewegungsvorgang einer Nachrechnung zugänglich (s. Forschungsheft Nr. 265 S. 62).

Aus der Luftgeschwindigkeit w_0 und der Kugelgeschwindigkeit w_k ergibt sich die Relativgeschwindigkeit $w_r = w_0 - w_k$. Abb. 18 gibt für einen bestimmten Kugeldurchmesser d_k die Kugelgeschwindigkeit w_k in Abhängigkeit vom spezifischen Gewicht γ_k und der Luftgeschwindigkeit w_0 wieder. Die ausgezogenen Kurven wurden zunächst durch einfaches Ausgleichen der Streuungen festgelegt. Durch Differenzbildung erhält man die zugehörigen Werte w_r. Auf Grund der Überlegung, daß zwischen w_r und der Schwebegeschwindigkeit w_s ein Zusammenhang besteht, und daß ferner w_s nach Gl. (10) eine Funktion von $\sqrt{d_k}$ ist, wurden die gemäß Abb. 17 gebildeten w_r über $\sqrt{d_k}$ für verschiedene Luftgeschwindigkeiten w_0 aufgetragen, Abb. 19. Man erkennt ohne weiteres den einfachen linearen Zusammenhang zwischen w_r und $\sqrt{d_k}$ und ferner, daß bei gegebener Luftgeschwindigkeit w_0 auch das Verhältnis $\frac{w_r}{w_s}$ unveränderlich ist. Trägt man $\frac{w_r}{w_s}$ über w_0 auf, Abb. 20, so ergibt sich für sämtliche untersuchten Größen (d_k) und spezifischen Gewichte (γ_k) der Kugel die einfache Beziehung

$$\frac{w_r}{w_s} = f(w_0) \quad \ldots \ldots \quad (11).$$

Nach der aus Abb. 20 gewonnenen Gl. (11) sind die Kugelgeschwindigkeiten w_k und w_r für die einzelnen Versuche nachgerechnet und strichpunktiert in Abb. 18 eingetragen.

b) Die Bewegung eines Materialstromes.

Die stereoskopischen Einfunkenbilder bezweckten, die Materialverteilung über den Querschnitt bei verschiedener Belastung und Luftgeschwindigkeit wiederzugeben, Abb. 21. Man erkennt, daß sich das Material im allgemeinen gleichmäßig über den ganzen Rohrquerschnitt verteilt, daß es sich aber in der unteren Hälfte etwas dichter häuft — um so dichter, je mehr man sich der oberen Grenze der Materialbelastung und der unteren Grenze der Fördergeschwindigkeit nähert.

Abb. 22 ist eine stereoskopische Doppelfunkenaufnahme mit Zeitmarkierung und gibt Aufschluß über die Bahnrichtung und die Geschwindigkeit der einzelnen Körner.

Die Auswertung dieser Bilder, die zu guter Übereinstimmung der aus verschiedenen Bildern gewonnenen Geschwindigkeiten führte, ist im Forschungsheft 265 gebracht. [A 207]

Dr.-Ing. eh. Charles Brown †.

Am 2. Mai ist Charles Brown, der Gründer und Mitinhaber der großen Elektrizitätsfirma Brown, Boveri & Cie., A.-G., im Alter von 61 Jahren einem Herzschlag erlegen. Mit ihm verliert die Ingenieurwissenschaft und insbesondere die Elektrotechnik einen ihrer Bahnbrecher.

Schon als junger Mann, mit 23 Jahren, wurde Brown Leiter der elektrischen Abteilung der Maschinenfabrik Oerlikon. Er widmete sich hier vor allen Dingen der Gestaltung technisch brauchbarer Gleichstrommaschinen. Seine geniale konstruktive Begabung erkannte sehr bald ohne Rechnung den auf die Stromwendung wirkenden Einfluß der Erregerwicklung und der auf eine Kommutatorlamelle entfallenden Leiterzahl. Er baute daher seine Stromerzeuger im bewußten Gegensatz zu der von andern geübten Praxis mit großem Kraftfluß und geringer Ankerleiterzahl. Aus jener Zeit stammen auch die berühmten Stromerzeuger für die Aluminium-Industrie, A.-G., in Neuhausen, die längere Zeit mit 6000 und 12 000 A die größten Gleichstrommaschinen gewesen sind.

Auf dem Gebiete der Wechselstromtechnik schuf Brown zusammen mit Dolivo-Dobrowolsky die heute zur Selbstverständlichkeit gewordene verteilte Mehrphasenwicklung, wodurch die Streuung der Motoren herabgemindert wurde. Für die Kraftübertragung von Laufen a. Neckar nach Frankfurt a. Main erbaute Brown die ersten Öltransformatoren für 86/25 000 V, die drei um 120° gegeneinander versetzte Kerne erhielten, die oben und unten durch ein rundes Joch verbunden waren.

Kurze Zeit darauf gründete Brown zusammen mit W. Boveri die Kommanditgesellschaft Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). Er stellte sich u. a. die Aufgabe, die Wechselstromerzeuger weiter zu vervollkommnen. Die im Jahre 1896 gebauten Dynamomaschinen hatten schon 8000 V Klemmenspannung, und später wurden für das Kraftwerk Paderno a. d. Adda Stromerzeuger für 14 500 V Maschinenspannung gebaut.

Auf dem Gebiete des elektrischen Bahnwesens ist Browns Name bekannt geworden durch die Jungfraubahn, die Burgdorf-Thunbahn, die Simplonstrecke usw., bei denen die teilweise von Brown entworfenen elektrischen Einrichtungen der Fahrzeuge für Drehstrom noch heute in tadellosem Betrieb sind.

Große Aufmerksamkeit widmete Brown den Fragen der Erzeugung elektrischer Energie in Großkraftwerken, wobei ihm die Verwirklichung dieser Pläne durch den Ausbau von Wasserkräften nicht genügte. Er erwarb daher 1900 die Parsonsschen Dampfturbinenpatente, um Dampfturbinen nach dieser Bauart auszuführen, und nahm an ihrer Vervollkommnung regen Anteil. Hauptsächlich beschäftigte sich aber Brown mit der Durchbildung der Turbodynamos. Aus der Erkenntnis heraus, daß bei größeren Leistungen und Umfangsgeschwindigkeiten die Drehstrom-Turbodynamos mit ausgeprägten Polen aus Gründen der Festigkeit auf die Dauer nicht ausreichen können, schuf er das Turbopolrad in Form einer zylindrischen Walze mit verteilten Nuten zur Aufnahme der Erregerwicklung; diese Bauart wurde später allgemein übernommen.

Für Deutschland wesentlich war die Gründung der Niederlassung von Brown, Boveri & Cie. in Mannheim-Käferthal. Nach der Umwandlung der Firma Brown, Boveri & Cie. in eine Aktiengesellschaft war Brown bis 1911 als Vorsitzender des Verwaltungsrates tätig. Im Jahre 1912 ehrte ihn die Technische Hochschule Karlsruhe durch Verleihung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften.

[M 408] Sd.

Zwangläufige Kolbenventilsteuerung Patent Proell.

Von F. Lehmann, Dresden.

Es wird auf den Unterschied zwischen gewöhnlicher Schieberventil- und Kolbenventilsteuerung an Dampfmaschinen hingewiesen und ausführlich die zwangläufige Kolbenventilsteuerung Patent Proell beschrieben, deren Wirkungsweise an der Hand von Schaulinien der Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Einlaßorgane erläutert wird. Zum Schluß wird das Ergebnis eines Dampfverbrauchversuches an einer 1000 PS-Dampfmaschine mit der neuen Steuerung bekanntgegeben sowie auf einige Sonderausführungen hingewiesen.

Die Verbesserungen, die sich an dem Getriebe der heutigen Dampfmaschine noch erzielen lassen, scheinen mit Rücksicht auf den schon erreichten Grad der Vervollkommnung verhältnismäßig gering und fesseln weitere Kreise der einschlägigen Industrie nur, wenn die Neuerung gestattet, fühlbare und bisher als unvermeidlich gehaltene Mängel zu beseitigen. Hat sich eine Verbesserung aber bereits im Betriebe bewährt und ist sie geeignet, auch bei der künftigen Gestaltung der Dampfmaschine ihren Wert zu behalten, dann werden sicherlich ausführliche Berichte darüber begrüßt.

Die größte Beachtung hat man von jeher den Steuerungsteilen der Dampfmaschine entgegengebracht, deren Ausführung das Aussehen der Maschine wesentlich beeinflußt. Diese Steuerungsteile für sich lassen sich in äußere und innere unterscheiden, die in ihrer Form bis zu einem gewissen Grade voneinander abhängen. Die äußeren Steuerungsteile bilden ein kaum noch übersehbares Gebiet von verschiedenen Konstruktionen, während die inneren Steuerungsteile in nur drei, höchstens vier ziemlich stark verschiedene Arten, Hähne, Schieber und Ventile zerfallen. Zwischen Schieber und Ventile treten noch die sogenannten Kolbenventile, ihrer Form nach Kolbenschieber, ihrer Bewegung nach aber mehr Ventile.

Außer in ihrer Bewegung unterscheiden sich die Kolbenventile von den gewöhnlichen Kolbenschiebern vor allem darin, daß die Kolbenschieber fast immer gleichzeitig Ein- und Auslaß beider Zylinderseiten steuern, während Kolbenventile für Ein- und Austritt sowie für jede Zylinderseite gesondert angeordnet werden. Die hiermit verbundene Verwicklung wird jedoch durch die erhebliche Verringerung des schädlichen Raumes und der kühlenden Oberflächen sowie durch die Möglichkeit, eine sehr genaue Dampfverteilung zu erreichen, wieder reichlich ausgeglichen.

Die Bewegungsverhältnisse, die von wesentlichem Einfluß auf die Lebensdauer der Steuerungsteile sind, sprechen außerdem zugunsten der Kolbenventile, obgleich diese scheinbar nicht an das durch die Ventile gegebene Ideal heranreichen. Bei einer Schieberdampfmaschine ist der Schieber bis auf die Augenblicke seiner Umkehr in den Totpunktlagen dauernd in Bewegung, obwohl nur während eines Bruchteils der Kurbelumdrehung Dampf in den Zylinder zu strömen braucht. Während des weitaus größten Teiles des Kolbenhubes werden also die Schieberkanten, die den Eintritt steuern, ohne Zweck bewegt und die dichtenden Flächen deshalb mehr als nötig abgenutzt.

Bei einer Ventildampfmaschine dagegen ist das Einlaßventil nur so lange in Bewegung, als Dampf in den Zylinder eintreten muß, und dann bis zum folgenden Wiedereintritt in Ruhe. Hierbei bleibt ein Teil des Steuerungsgetriebes in völliger Ruhe, ein anderer ohne nennenswerte Belastung, und, was ganz besonders für die Regelung wichtig ist, zwischen den einzelnen Öffnungszeiten liegen verhältnismäßig große Zeiträume, wo der Regler frei von fast allen Rückdrücken neuen Gleichgewichtlagen zustreben kann. In Abb. 1 stellt der Kreis die Bahn der Kurbelzapfenmitte dar. Hier ist in äußerst anschaulicher Weise zu erkennen, wie verhältnismäßig lange bei der Ventilsteuerung die inneren Teile in Ruhe sind.

Ganz zweifellos befriedigt die neuere Ventilsteuerung alle Anforderungen; sie hat sich deshalb im Laufe der Jahre bestens

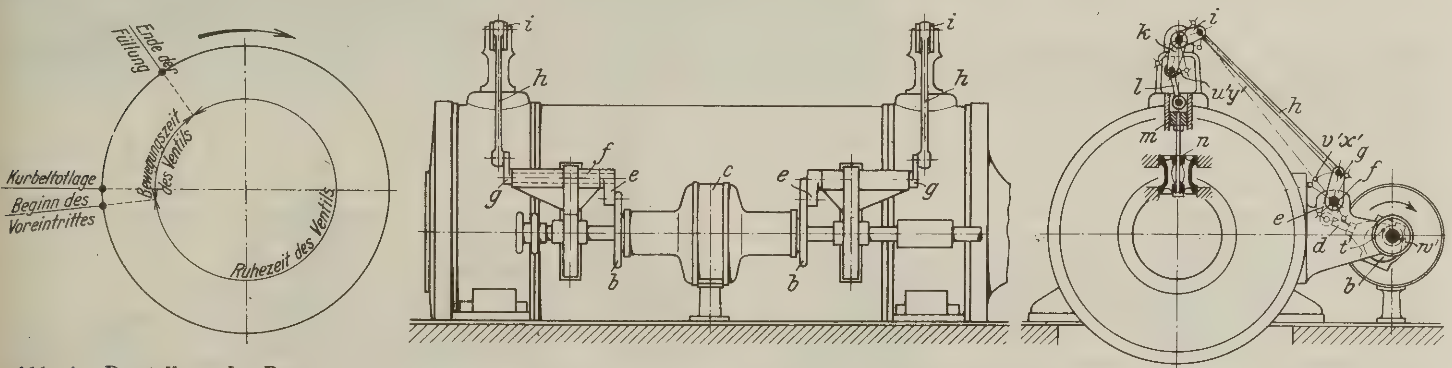


Abb. 1. Darstellung der Bewegungs- und Ruhezeit des Ventils.

Abb. 2 und 3. Proell-Steuerung für Kolbenventile an einer liegenden Gleichstrom-Dampfmaschine.

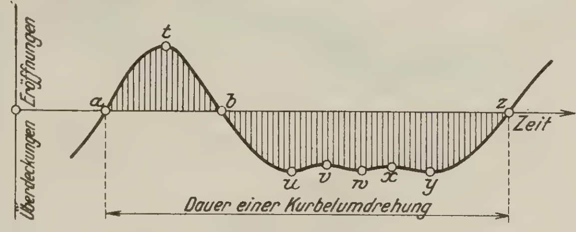


Abb. 4. Schieberöffnung in Abhängigkeit von der Zeit.

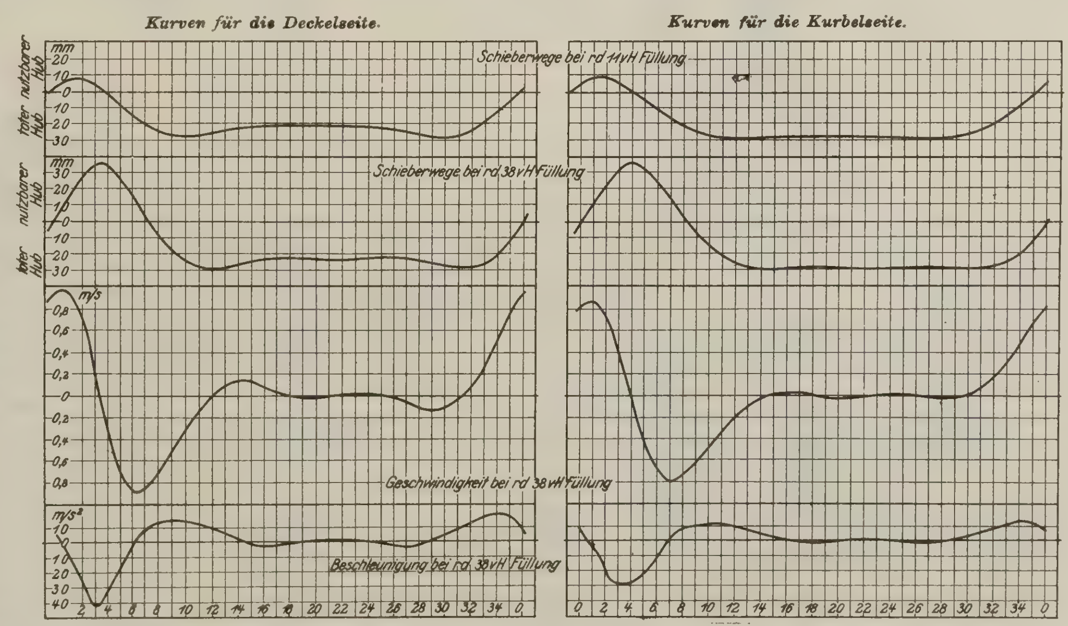


Abb. 5 bis 8. Verlauf der Schieberbewegungen an einer Gleichstrommaschine.

bewährt. Man darf aber nicht übersehen, daß sie einige Nachteile hat, welche, wenigstens in bestimmten Industriezweigen, unangenehm erscheinen können und vor allem dann zu unliebsamen Störungen des Betriebes führen, wenn das Bedienungspersonal nicht genügend ausgebildet ist. Die beste Ventilsteuerung verliert ihre guten Eigenschaften, wenn nach einer Ausbesserung an den Steuerungsteilen die arbeitenden Teile nicht mit der erforderlichen Sorgfalt wieder eingestellt werden. Schlechte Dampfverteilung, unruhiger Gang und undichte Ventile, verbunden mit Dampfverlusten, sind dann die unvermeidlichen Folgen vielleicht nur kleiner Unachtsamkeiten; ist dazu noch die Wartung der Maschine mangelhaft, so steigen die Kosten für die Ausbesserungen und die Unsicherheit des Betriebes schon nach kurzer Zeit beträchtlich.

Hierin ist das Kolbenventil dem gewöhnlichen Aufschlagventil weit überlegen, zumal zahlreiche Versuche den Beweis liefern, daß es sich bei richtiger Bauart durchaus befriedigend und dauernd abdichten läßt. Da dies weiten Kreisen bekannt ist, läßt sich das Mißtrauen, das der Dampfmaschinenbau dem Kolbenventil gegenüber bisher vielfach gezeigt hat, nur dadurch erklären, daß ein geeigneter, zwangläufiger Antrieb dafür gefehlt hat.

Bei der neuen zwangläufigen Kolbenventilsteuerung, Patent Proell, sind alle diese Mängel vermieden, ohne daß deshalb wesentliche Vorteile der Dampfmaschine aufgegeben werden mußten. Der vollständige Zwanglauf aller Teile in Verbindung mit Kolbenventilen, deren Dichtheit im Betrieb weit weniger als beim Ventil von der Erwärmung abhängt, sind große Vorteile des Antriebes.

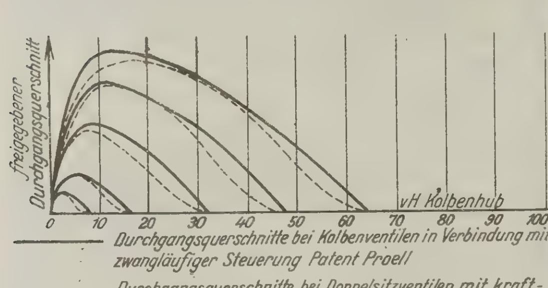
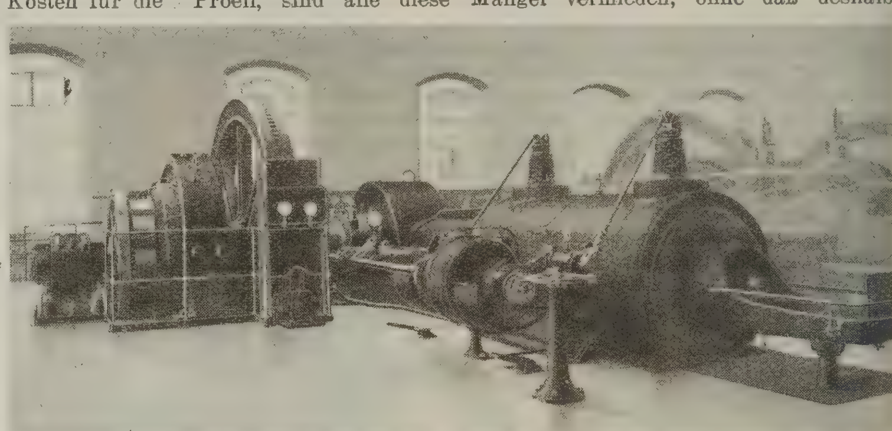


Abb. 9. Vergleich der Durchgangquerschnitte von Kolbenventilen und Doppelsitzventilen mit zwangläufiger Steuerung.



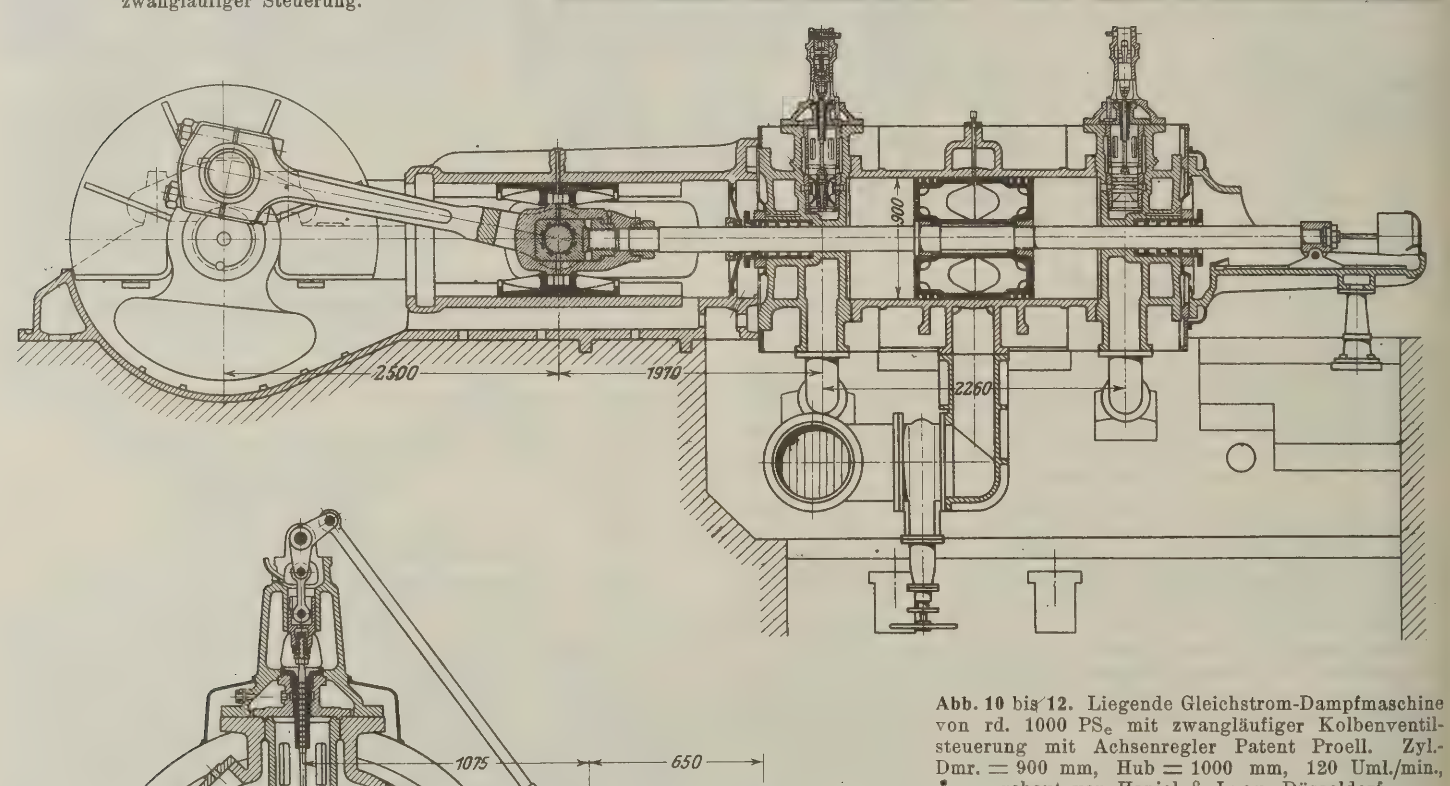


Abb. 10 bis 12. Liegende Gleichstrom-Dampfmaschine von rd. 1000 PS_e mit zwangläufiger Kolbenventilsteuerung mit Achsenregler Patent Proell. Zyl.-Dmr. = 900 mm, Hub = 1000 mm, 120 Uml./min., gebaut von Haniel & Lueg, Düsseldorf.

Die große Einfachheit des Aufbaues gestattet, schon beim Entwurf alle Gelenkdrücke zuverlässig zu ermitteln und damit die beweglichen Teile richtig zu bemessen, wodurch auf lange Zeit hinaus ruhiger Gang und geringer Verschleiß erreicht werden kann. Beide Eigenschaften bleiben auch beim Verstellen der Teile in weiten Grenzen erhalten.

Abb. 2 und 3 zeigen schematisch die neue Proell-Steuerung für Kolbenventile an einer liegenden Gleichstrom-Dampfmaschine. Parallel zur Zylinderlängsachse ist die bekannte Steuer-

welle angeordnet, die mittels eines Kegelräderpaares von der Kurbelwelle angetrieben wird und an dem vor dem Zylinder liegenden Teil einen Achsenregler *c* trägt. Zu beiden Seiten des Reglers sitzen von ihm beeinflußte Einlaßexzenter *b*, von denen die Bewegung durch Exzenterbügel oder Stange *d* auf die Kurbeln *e* der Zwischenwellen *f* weitergeleitet wird. Die Kurbeln *g* übertragen dann die Bewegung durch Stangen *h* auf Doppelhebel *i-k*, Lenker *l* und Führungskolben *m*, an denen die Kolbenventile *n* hängen.

In einfacher Weise gestattet die so entstandene Gelenkreihe, dem Schieber durch geeignete Wahl der Winkel und Stangenlängen die günstigste Bewegung vorzuschreiben. Da die Kurbeln *g* und *k* mit den anschließenden Stangen *h* und *l* in den Punkten *v'x'* und *u'y'* durch die Strecklage schwingen, treten zu den Augenblicken der vollkommenen Ruhe des Schiebers bei Umkehr der Exzenterschubrichtung vier weitere hinzu.

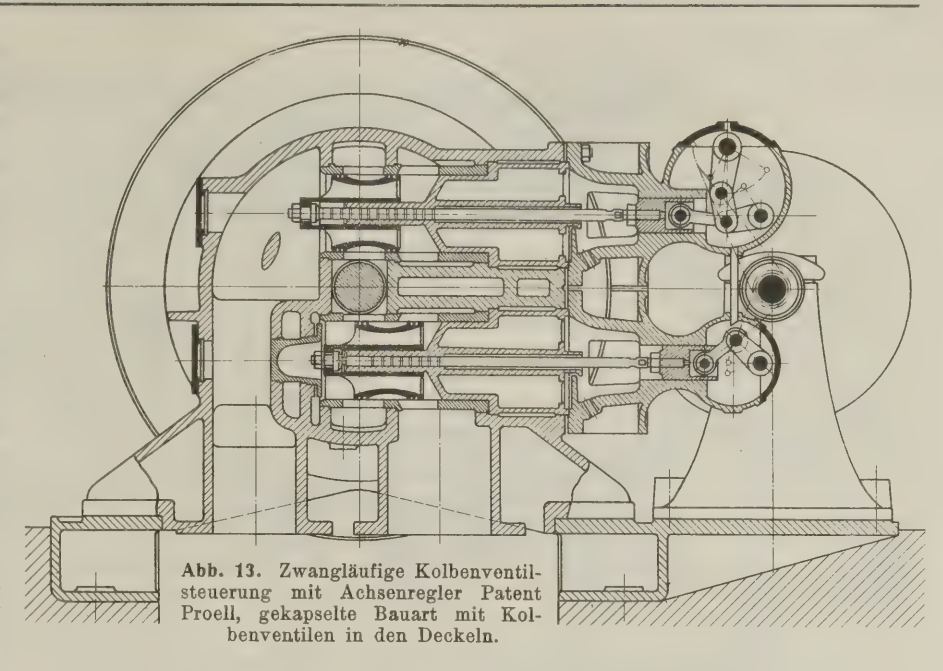


Abb. 13. Zwangläufige Kolbenventilsteuerung mit Achsenregler Patent Proell, gekapselte Bauart mit Kolbenventilen in den Deckeln.

In Abb. 4 sind auf der Abszissenachse den Zeiten proportionale Strecken abgetragen, während die Ordinaten die zu jedem Moment gehörende Schieberöffnung darstellen. Positive Werte zeigen Kanaleröffnung und negative Werte Überdeckung an, so daß die Nullinie zur steuernden Kante der Schieberbüchse wird. Punkt *a* ist der Augenblick der Eröffnung, Punkt *t* der der größten Schieberausweichung nach der einen Seite, Punkt *b* Schluß der Füllung, und die Punkte *u*, *v*, *w*, *x* und *y* sind die größten Schieberausweichungen nach der andern Seite. Die letzten fünf Punkte liegen kurz hintereinander und fast auf einer Wagerechten. Hierdurch kommt zum Ausdruck, daß der Schieber während der von *u* bis *y* reichenden Zeitspanne fast völlig in Ruhe ist, d. h. mit voller Überdeckung abdichtet.

Im Steuergestänge lassen sich diese Punkte leicht ermitteln. Denkt man sich die Steuerwelle in Pfeilrichtung umlaufend, so stellt Punkt *t* der Kurve die Lage des Exzentermittels in *t'*, Abb. 3, dar, Punkt *u* die Lage der Kurbel *k* in *u'y'*, *v* die Lage der Kurbel *g* in *v'x'*, dann *w* die Lage des Exzentermittels in *w'*, *x* die Lage der Kurbel *g* wieder in *v'x'*, und endlich *y* die Lage der Kurbel *k* wieder in *u'y'*, womit beim Durchgang des Exzentermittels durch *t'* eine volle Umdrehung der Kurbel oder Steuerwelle vollendet ist und sich nun alle Vorgänge wiederholen.

Den wirklichen Verlauf der Schieberbewegungen an einer Gleichstrommaschine geben ausführlicher und genauer Abb. 5 bis 8 an. Als Zeitachse ist wieder die Abszissenachse gewählt, während die Ordinaten in Abb. 5 und 6 wieder die durch die Nullinie getrennten Eröffnungen und Überdeckungen, in Abb. 7 und 8 Geschwindigkeiten und Beschleunigungen angeben. Zur Beurteilung des Verlaufes aller Werte bei verschiedenen Belastungen der Maschine sind die Schieberwegkurven für mittlere und höchste Füllung aufgezeichnet, für die letztere außer den Schieberwegen die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Der stetige Verlauf der Beschleunigungen und die Kenntnis aller Übergänge gestatten, Größe, Richtung und Aufeinanderfolge der auftretenden Gelenkdrücke zuverlässig anzugeben.

Aufschluß über die freigegebenen Einströmquerschnitte gibt Abb. 9. Zum Vergleich mit den Eröffnungen eines Ventils sind unter Annahme gleicher Verhältnisse die Querschnitte für Kolbenventile und gewöhnliche Aufschlagventile übereinandergezeichnet. Wie hieraus zu erkennen ist, lassen sich mit Kolbenventilen und der neuen Steuerung nicht nur die gleichen Querschnitte, sondern auch namentlich gegen Ende der Füllung vorteilhaftere Schlußbewegungen erreichen.

Abb. 10 bis 12 zeigen eine 1000 PS-Gleichstrom-Dampfmaschine von Haniel & Lueg in Düsseldorf, die mit der neuen Steuerung ausgerüstet ist und seit längerer Zeit im Kraftwerk dieser Firma läuft. Während der ganzen Betriebsdauer hat sich der geräuschlose Gang der Maschine bis heute erhalten; genaue Untersuchung aller beweglichen Teile nach über einjährigem, teil-

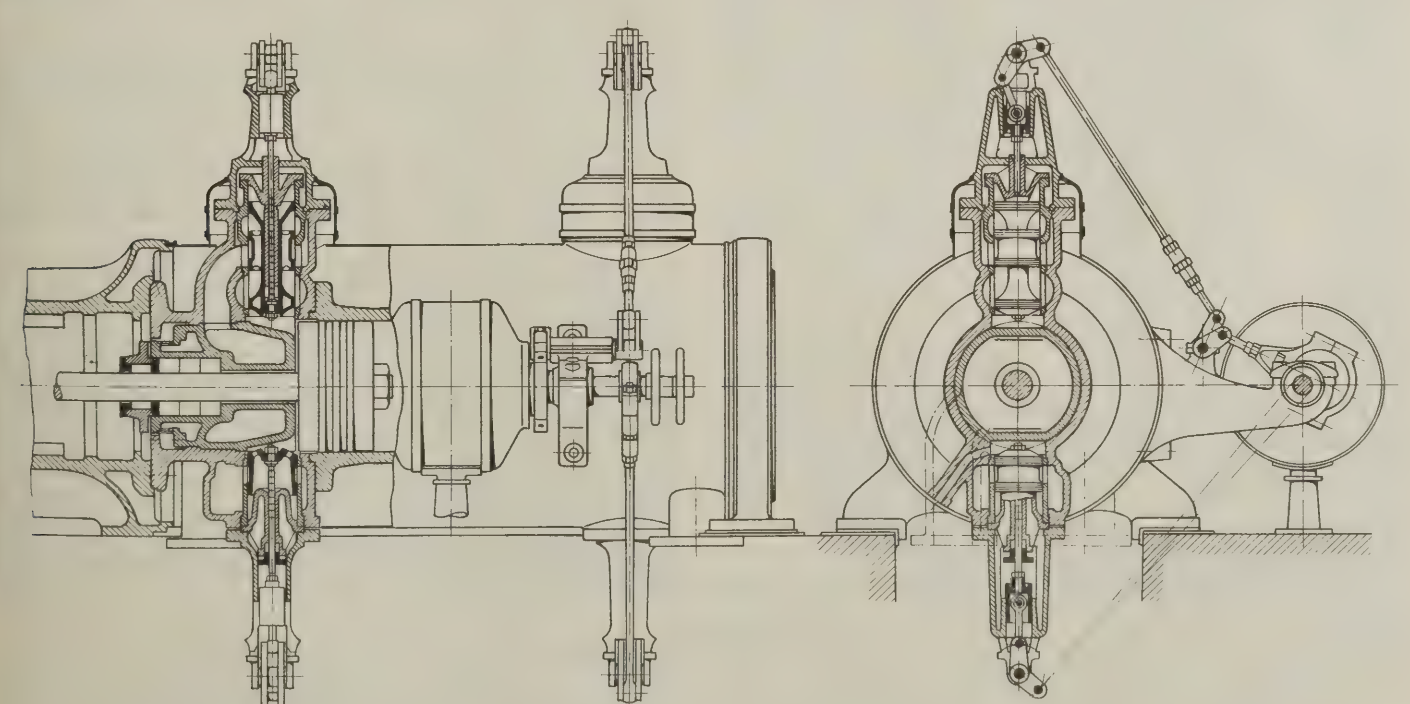


Abb. 14 und 15. Einzylinder-Dampfmaschine mit zwangläufiger Kolbenventilsteuerung und Achsenregler Patent Proell.

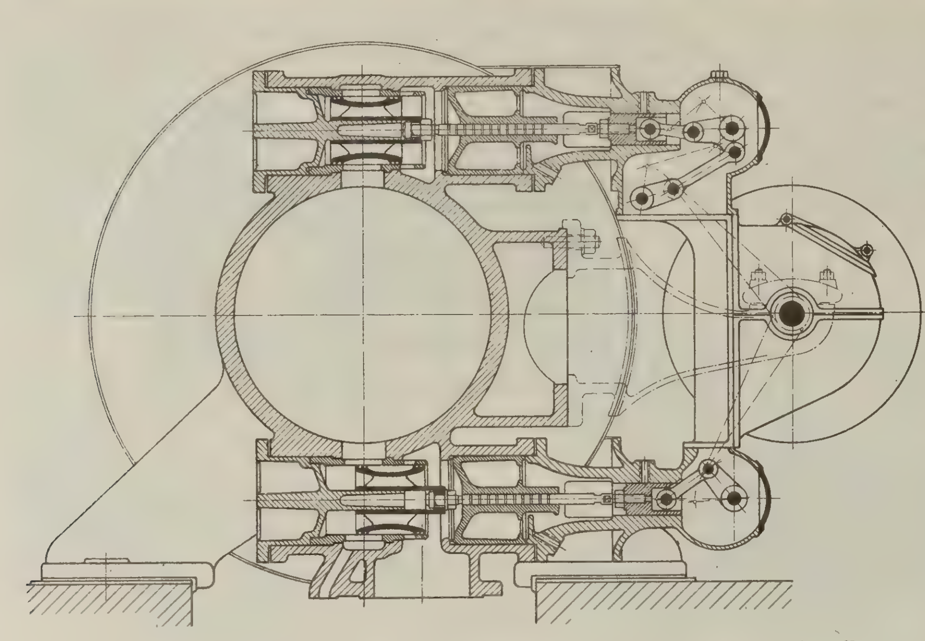


Abb. 16. Zwangläufige Kolbenventilsteuerung mit Achsenregler Patent Proell, gekapselte Bauart mit herausnehmbaren Zylinderdeckeln.

weise schwerem Betrieb hat kaum feststellbare Abnutzung gezeigt, so daß die Maschine ohne jede Nacharbeit oder Ersatz von Teilen wieder in Betrieb genommen werden konnte.

Besondere Beachtung verdienen die Kolbenventile, die vorteilhaft nach Hochwald[1]) ausgebildet werden, und dann neben doppelten Eröffnungen doppelte Abdichtung ergeben. Als Schieber betrachtet, zerfällt das Kolbenventil dann in einen äußeren und inneren Teil mit ungleichen Überdeckungen; im vorliegenden Fall, s. Abb. 12, der äußerer Einströmung entspricht, ist die innere Überdeckung kleiner als die beiden äußeren Überdeckungen. Beim Anheben des Kolbenventiles kommt also der Zylinder nicht sofort mit dem Frischdampfraum, sondern zunächst nur mit der zwischen innerem und äußerem Schieberteil entstehenden Vorschaltkammer in Verbindung. Erst beim weiteren Hub öffnen sich gleichzeitig oben und unten die Kanten des äußeren Schieberteiles und lassen Frischdampf einströmen. Beim Rückhub des Kolbenventils schließen die Steuerkanten des inneren Schieberteiles erst während der Expansion ab. Daher stellt sich in der Vorschaltkammer ein Druck ein, der zwischen dem des Frischdampfes und dem des Auspuffes liegt. Es werden durch diese Ausführungsform des Schiebers zwei dichtende Flächen hintereinander geschaltet, zwischen welchen ein genügend großer Raum vorhanden ist, in dem sich kleine Dampfmengen sammeln können, die bei weniger sorgfältiger Ausführung von Schieber und Büchse von der Frischdampfseite während der Expansion oder des Dampfaustrittes nachströmen. Während beim Schieber gewöhnlicher Bauart diese Dampfmengen sofort in den Zylinder bzw. Auslaß strömen können, werden diese beim Hochwaldschieber bis kurz vor Beginn des Voreintrittes in der Vorschaltkammer zurückgehalten, um dann erst in den Zylinder zu gelangen und dort während der folgenden Expansion mit Arbeit zu leisten.

Zahlentafel 1.

Lfd. Nr.	Zeit	Uml/min	Frischdampf[1])		Luftleere	Dynamo			Deckelseite		Kurbelseite		Ind. Gesamtleistung
			Überdruck at	Temp. °C	cm Q.-S.	V	A	PS_e	mittl. indiz. Druck at	Ind. Leistung PS	mittl. indiz. Druck at	Ind. Leistung PSh	PSh
1	9^{30}		10,6	240	68,5				2,75	443	2,54	409	852
2	9^{40}		11,0	245	68,5								
3	9^{50}		11,4	250	68,5				2,77	446	2,33	376	822
4	10^{00}		11,2	252	68,5				2,90	472	2,52	406	878
5	10^{10}		11,2	258	69,0								
6	10^{20}		11,2	259	68,0				2,81	452	2,42	390	842
7[2])	10^{30}		11,3	260	69,0				2,82	455	2,45	395	850
8	10^{40}		11,3	262	69,0				2,86	461	2,41	389	850
9	10^{50}		11,4	262	69,3								
10	11^{00}		11,2	265	69,3				2,86	461	2,41	389	850
11	11^{10}		11,4	266	69,3				2,86	461	2,44	394	855
12	11^{20}	119	11,7	268	69,3	230	2300	719					
13	11^{30}		11,4	268	69,3				2,96	477	2,47	399	876
14	11^{40}		11,5	270	69,3								
15	11^{50}		11,6	270	69,3				2,82	454	2,31	372	826
16	12^{00}		11,6	270	69,4								
17	12^{10}		11,6	270	69,4				2,84	458	2,36	381	839
18	12^{20}		11,1	270	69,5								
19	12^{30}		11,5	270	69,5				2,86	461	2,36	381	842
20	12^{40}		11,1	270	69,6								
21	12^{50}		11,5	270	69,6				2,96	477	2,40	387	864
22	1^{00}		11,6	270	69,8								
23	1^{10}		11,5	273	69,8				2,92	471	2,34	377	848
24	1^{20}		11,5	272	69,6								
25	1^{30}		11,2	272	69,6				2,98	481	2,41	389	870
Mittelwerte		119	11,34	264°	69,2	230	2300	719	2,87		2,41		851

$P_{i_{mittl.}} = 2,64$

Ein zu Anfang Mai 1922 in meinem Beisein durchgeführter Dampfverbrauchsversuch hat auch die Wirtschaftlichkeit der Maschine völlig geklärt. Der Versuch ließ sich besonders streng durchführen, da die Maschine mit einem Gleichstromerzeuger gekuppelt ist, so daß die Belastung durch Wasserwiderstände sehr gleichmäßig erhalten und leicht gemessen werden konnte, während der Anschluß an einen Oberflächenkondensator genaue Messung des verbrauchten Dampfes möglich machte. Zahlentafel 1 ist eine Wiedergabe des Versuchsprotokolls. Die Versuchsdauer betrug vier Stunden.

Die Hauptabmessungen der Maschine sind:

Zyl.-Dmr.	900 mm
Hub	1000 „
Uml./min	108 bis 132 „
Kolbenstangendmr. vorn	185 „
„ hinten	185 „
Wirksame Kolbenfläche	6093 cm²
Mittl. Kolbengeschwindigkeit bei $n = 119$ Uml./min	3.96 m/s.

Die gesamte im Kondensator niedergeschlagene Dampfmenge war 14 863 kg. Bei vierstündiger Versuchsdauer ergibt dies einen Verbrauch von 3716 kg/h und einen spezifischen Verbrauch von 4,37 kg/PS_i h.

Nach der Tafel von Mollier beträgt das Wärmegefälle in den angegebenen Grenzen 196 kcal/kg. Hieraus folgt ein theoretischer Dampfverbrauch von 3,22 kg/PS_i h und ein thermodynamischer Wirkungsgrad von 0,74.

Leider gestattete die Dynamo nicht, die Maschine bis zur Normalleistung von 1000 bis 1100 PS_i zu belasten.

Weitere Anwendungen der neuen Proell-Steuerung zeigen die Abb. 13 bis 16. Die erste davon eine Schieberanordnung an einer gewöhnlichen (Wechselstrom-) Maschine mit Ein- und Auslaßkolbenventil auf jeder Zylinderseite. Damit alle Steuerungsteile geschützt werden, sind die Schieber wagerecht angeordnet, so daß man das Getriebe weitgehend verschalen kann. In Abb. 14 und 15 ist auf die Zugänglichkeit des Kolbens ohne Abbau von Steuerungsteilen besonderer Wert gelegt, in Abb. 16 außerdem die Einkapselung aller beweglichen Teile möglich. Alle Anordnungen gestatten, doppelt dichtende Kolbenschieber nach Hochwald und dürften somit für den Entwurf von Hochdruckdampfmaschinen verwendbar sein. [A 279]

[1]) Vergl. Z. Bd. 63 (1919) S. 1032.
[1]) Am Dampfeintrittstutzen der Maschine gemessen.
[2]) Hier ließ die Luftleere etwa 3 bis 4 min nach und fiel bis auf etwa 64 cm.

Elektrische Stahlprüfungs-Verfahren von B. D. Enlund.

Von Dr.-Ing. Bengt Kjerrman, Klosters A.-B., Schweden.

Es wird gezeigt, wie durch Widerstandsmessungen an stabförmigen Proben in einfachster und raschester Weise während des Frischens oder an fertigem Material der Kohlegehalt und der Summenwert der übrigen Beimengungen bestimmt werden können. Aus dem Summenwert aller Beimengungen einschließlich Kohlenstoff kann wieder innerhalb der einzelnen Sorten auf die mechanischen Eigenschaften des Materials geschlossen werden. Ermittlung der thermischen Umwandlungen durch Widerstandsmessungen während des Erhitzens bzw. Abkühlens.

Während mehrerer Jahre hat B. D. Enlund an der praktischen Auswertung der Forschungsergebnisse hinsichtlich des Einflusses der im Eisen gelösten Beimengungen, insbesondere des Kohlenstoffes, gearbeitet, nachdem er selbst die früheren Forschungen durch zahlreiche praktische Versuche ergänzt und berichtigt hatte. Diese ihm geschützten, wiederholt preisgekrönten neuen Verfahren ermöglichen folgende Untersuchungen rasch und sicher mittels Widerstandsmessung durchzuführen.[1])

1. Bestimmung des Gehaltes an Fremdstoffen, insbesondere des Kohlenstoffes und des Siliziums bei siliziertem Material.

2. Klassifizierung des Materials hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften.

Außerdem kann durch fortlaufende Widerstandsmessung während der Erhitzung und Abkühlung einer Probe der Glüh-, Härtungs- und Anlaßverlauf untersucht werden.

Da über den Grundgedanken der Messung und die Meßeinrichtung sowie über die Vorschriften zur richtigen und raschen Herstellung der Proben für die Bestimmung des Fremdstoffgehaltes ausführlich und unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Verhältnisse an anderer Stelle[2]) berichtet worden ist, kann ich mich teilweise darauf beschränken, diesbezüglich nur die Erfahrungen in Schweden, wo das Verfahren in einer größeren Zahl von Stahlwerken mit gutem Erfolg eingeführt ist, und die von mir erprobte Arbeitsweise mitzuteilen.

Bestimmung des Gehaltes an Fremdstoffen.

Rasche Kohlebestimmung während des Frischens.

Zur Beobachtung des Frischungsvorganges und Feststellung des richtigen Zeitpunktes für das Abstechen des Einsatzes wird während des Frischens einige Male mit der Schöpfkelle eine Probe entnommen. Die stabförmige Probe wird entweder unmittelbar in einer Kokille gegossen oder aus einem Probestück, wie es sonst für Schmiedeproben gegossen wird, ausgeschmiedet oder in einem kleinen Walzwerk ausgewalzt.

Gegossene Proben.

Enlund gibt folgendes an: „Eine gegossene Probe wird nur bei Vorprüfungen von Stahlbeschickungen benützt, die kleine spezifische Legierungsstoffe enthalten (gewöhnlicher Handelstahl), aber nur für Stahl mit Kohlegehalt unter 1 vH."

Ich selbst würde raten, das Verfahren mit gegossener Stahlprobe nicht bei höherem Kohlegehalt als bis etwa 0,50 vH anzuwenden. Gewiß ist es angängig, Stahl mit höheren Kohlegehalten durchzuprüfen, aber dies erfordert gute Erfahrung, da die Probe auf Grund entstehender Risse sowie Blasen in der Gußstruktur leicht weniger zuverlässig wird. Bei Einführung der Enlundschen Stahlprüfung dürfte es darum am besten sein, in bezug auf die Anwendungsmöglichkeiten dieses speziellen Verfahrens für Stahl mit höherem Kohlegehalt als 0,50 vH vorsichtig zu sein. Bei niedrigerem Kohlegehalt sind gegossene Proben indessen sehr gut zu verwenden, und es wird gerade bei dieser Bestimmungsart des Kohlegehalts große Schnelligkeit erreicht. Die Prüfung geht folgendermaßen vor sich: In verschiedenen Zeiträumen wird eine geschmolzene Probe mit einer kleinen Schöpfkelle herausgenommen. Während der Stahl in der Schöpfkelle umgerührt wird, verdichtet man ihn unter Zusatz von ein wenig Aluminium; dann wird er in eine eigens dafür konstruierte runde Kokille mit Senktrichter gegossen, unmittelbar nach dem Gießen aus den trennbaren Kokillehälften herausgeschlagen, mit einer Zange gefaßt und in fließendem Wasser bei etwa 800 °C gehärtet.

Der Durchmesser solcher gegossener Probe ist schon im voraus durch Wägen und Messen bestimmt worden, so daß man einen wirklich guten Mittelwert erhalten hat. Nachdem die Probe getrocknet ist, wird sie in die Vorrichtung eingespannt und die entsprechende Stromstärke eingestellt, die so berechnet ist, daß der spezifische elektrische Leitungswiderstand unmittelbar am Millivoltmesser abgelesen wird. Nach einer für gegossene Proben besonders aufgestellten Kurve ist eine Zahlentafel aufgestellt worden. In dieser kann nun entsprechend dem spezifischen Widerstand der Kohlegehalt unmittelbar abgelesen werden. In dieser Zahlentafel ist bereits ein Abzug für die übrigen enthaltenen Stoffe gemacht worden. Da diese gegebenenfalls etwas wechseln, besonders der Gehalt des bei der Verdichtung in der Schöpfkelle angewendeten Aluminiums, wird die Bestimmung eine nicht ganz genaue sein. Dies gilt besonders für den höheren Kohlegehalt. Bei der Ausübung der Prüfung ist natürlich die mehr oder weniger große Übung auch von Einfluß. Die Prüfung wird sehr schnell ausgeführt und darf bei etwas Übung nicht mehr als höchstens 2 bis 2½ min in Anspruch nehmen. Nach der Prüfung kann man mehrere Stücke von der Probe abschlagen, um zu sehen, ob sie vollständig dicht und ohne Blasen ist.

Geschmiedete oder gewalzte Proben.

Diese Art der Probenherstellung ist allgemein verwendbar und nicht auf Stähle mit bestimmtem Gehalt an Kohle und sonstigen Beimengungen beschränkt wie die im vorigen Absatz beschriebene durch Guß. Hier werden zwei Messungen gemacht, eine an der gehärteten, eine an der geglühten Probe, und aus den von Enlund aufgestellten, versuchsmäßig gefundenen Kurven bzw. Zahlentafeln der Gesamtgehalt an Beimengungen in C-Werten, d. h. der Hundertgehalt der Beimengungen umgerechnet in die gleichwertige Kohlenmenge, und der dem Unterschied der spezifischen Widerstände entsprechende C-Gehalt abgelesen.

Im folgenden sei eine Prüfung am Siemens-Martinofen geschildert. Die Probe wird dem Ofen entnommen, unter Zusatz von Aluminium gegossen und mit Gußwärme auf rd. $4 \times 8\,mm^2$ Querschnitt geschmiedet. Das etwa 250 mm lange Stück wird in 128 mm Abstand vom fehlerfreien Ende mit einer besonderen Einrichtung eingekerbt, worauf die Probe an der Kerbstelle beiderseits mit dem Meißel nachgearbeitet wird. Hierauf wird bei einer bestimmten Härtungstemperatur, bei unbekanntem Kohlegehalt bei etwa 950 °C, im allgemeinen bei einer solchen Temperatur, daß reine Martensitstruktur erhalten wird, gehärtet. Das Probestück wird dann bei der eingemeißelten Einkerbung abgebrochen, getrocknet und sein spezifischer Widerstand gemessen. Während der Stahlprüfer nun eine neue Probe nimmt, erwärmen seine Mitarbeiter die gehärtete Probe bis etwa 950 °C und lassen sie dann zur Normalisierung in trockener Luft abkühlen. Bevor die neue Probe fertig ist, ist die normalisierte erkaltet, wonach auch sie gemessen wird. Aus dem hierbei festgestellten Unterschied der spezifischen Widerstände erhält man aus der von Enlund gefundenen Kurve den Kohlegehalt der ersten Probe. Man sticht im allgemeinen den Einsatz nach der letzten Härteprobe ab, hat aber durch die ausgeführte Reihe von Proben einen guten Anhalt von der Größe des zu machenden Abzuges bekommen.

Die Genauigkeit bei diesen Bestimmungen ist ebenso groß wie die bei dem Verbrennungsverfahren im elektrischen Ofen, man ist jedoch unabhängiger von zufälligen Störungen und kann in längstens 4 min. das Ergebnis erhalten.

Bestimmung des Kohlegehaltes fertigen Materials und Überprüfung der Analyse der übrigen Beimengungen.

Bei dem bisher beschriebenen Verfahren der Kohlebestimmung während des Frischens wurde vorausgesetzt, daß das Material keine besonderen Legierungen enthält. Auch wenn Chrom-Schrott verwendet wurde, beeinflußt dies zwar den spezifischen Widerstand, aber im allgemeinen ist der Gehalt von Sonderstoffen beim Frischen so klein, daß man die gewöhnlichen Skalen oder Zahlentafeln für geschmiedete Probestücke sehr gut verwenden kann. Bei fertiggestelltem Sonderstahl stößt man indessen auf Gehalt von Sonderstoffen, wie Nickel, Chrom, Wolfram usw., die eine Bestimmung des C-Gehaltes auf gewöhnlichem Wege nicht zulassen. Kennt man indessen die Analyse für die übrigen Stoffe, so kann man durch Messung einer gehärteten Probe den Kohlegehalt erhalten. Man verwendet dazu entweder Sonderkurven für die betreffende Legierung und einen bestimmten C-Wert der übrigen Beimengungen, der dann annähernd mit dem tatsächlichen Gehalt übereinstimmen muß, oder berechnet den C-Wert der Beimengungen aus der Analyse und bringt ihn von der Σ C in Abzug.

---

[1]) Die Siemens & Halske A.-G. Berlin, welche die Lizenz erworben hat und die Unterlizenzen für die Benutzung des Verfahrens weitervergibt, hat nach Ratschlägen von B. D. Enlund eine praktische Einrichtung nebst Hilfsmitteln zur einfachen Auswertung ausgearbeitet.

[2]) Dipl.-Ing. C. Holthaus, Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes im Stahl durch Messung des elektrischen Widerstandes. Berichte des Fachausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Chemikerausschuß, Bericht Nr. 39, Verlag Stahleisen, Düsseldorf.

Für Nickelstahl mit mehr als 1,5 vH Ni ist nur ersteres möglich. Die zweite Art der C-Bestimmung sei durch folgendes Beispiel näher beschrieben:

Das gehärtete Probestück habe einen spezifischen elektrischen Leitungswiderstand von 46,8 Mikrohm pro cm/cm² ergeben, einer „Kohlenwert-Summe" von 1,43 vH entsprechend.

Die Analyse des Stahles der entsprechenden Kohlewerte sei folgende:

$$\text{Si}\ \ 0{,}144\ \text{vH entsprechend einem C-Wert}\ \frac{12}{28{,}5}\cdot 0{,}144 = 0{,}06$$

$$\text{Mn}\ \ 0{,}40\ \ „\qquad „\qquad „\qquad „\qquad \frac{12}{55}\cdot 0{,}40 = 0{,}09$$

$$\text{Cr}\ \ 1{,}24\ \ „\qquad „\qquad „\qquad „\qquad \frac{12}{52{,}1}\cdot 1{,}24 = \underline{0{,}29}$$

$$0{,}44$$

Der Kohlegehalt ist somit 1,43 — 0,44 = 0,99 vH. Phosphor- und Schwefelgehalt brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn nicht jeder für sich 0,05 vH übersteigt.

Betreffs des Nickelgehalts sei noch bemerkt, daß man den entsprechenden Kohlewert dadurch erhält, daß der Gehalt mit 0,102 multipliziert wird, weil Nickel in gelöstem Zustand als Doppelatom vorkommt.

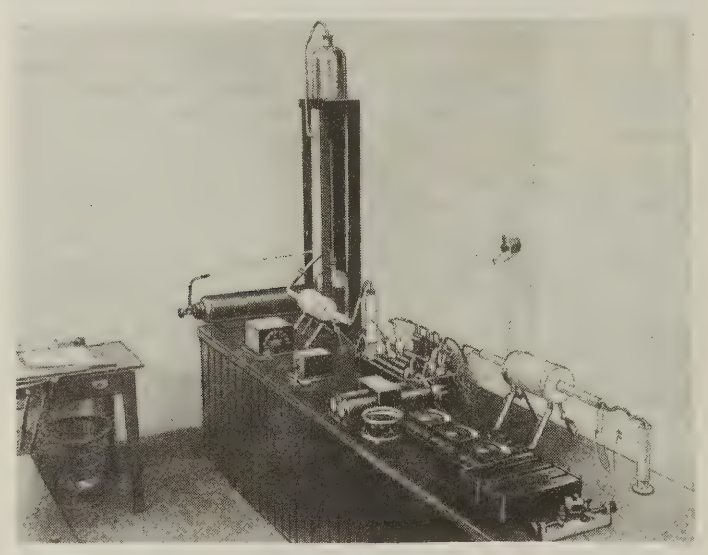


Abb. 1. Vorrichtung zur Vornahme der Versuche der Klosters A.-B. in Langshyttan.

Überprüfung der Analyse.

Beim gewöhnlichen Kohlestahl kann man bei fertigem Material durch eine gehärtete und normalisierte Probe teils den Kohlegehalt bestimmen und teils eine Überprüfung der chemischen Analyse der übrigen Stoffe erhalten. Man bestimmt zunächst den Kohlegehalt und rechnet dann die chemische Analyse in einen gemeinschaftlichen „Kohlewert" um, der später mit dem Unterschied zwischen „Kohlewert-Summe" und dem gefundenen Kohlegehalt übereinstimmen soll. Dies hat für Betriebsanalysen große Bedeutung, und bei festgestellten Unstimmigkeiten ist der Fehler in den meisten — man kann sagen in allen Fällen — bei der chemischen Analyse zu suchen.

Schnelle Bestimmung des Kieselgehaltes in fertiggefrischtem, aber noch nicht abgestochenem Stahl.

Ähnlich wie bei der Kohlenstoffbestimmung kann man aus dem Widerstand auch auf den Gehalt eines anderen Stoffes, sofern die übrigen Beimengungen nur gering oder bekannt sind, schließen. Das findet Anwendung bei Untersuchung von Material für Dynamo- und Transformatorblech auf Siliziumgehalt. Dieses enthält nach dem Frischen bei 3 bis 4 vH Silizium nur wenig Kohle und andere Beimengungen. Zur Untersuchung wird die Probe ungehärtet verwendet. Der dem gefundenen Widerstand entsprechende Si-Wert wird einer Sonderkurve bzw. einer danach angefertigten Zahlentafel entnommen. Die Dauer der Prüfung beträgt etwa 5 min.

Einteilung des Materials hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften.

Bei unlegierten Stählen, die gewöhnlich nach dem Kohlenstoffgehalt eingeteilt werden, haben auch die andern Beimengungen ähnlichen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften wie dieser. Es ist daher besser, nicht nach dem C-Gehalt, sondern nach der Summe der C-Werte, die man durch Widerstandmessung an der gehärteten Probe erhält, zu sortieren.

Bei gewöhnlichen Handelstählen kann man sogar die Bruchgrenze aus dem spezifischen Widerstand durch Multiplikation mit einem empirischen Faktor, der von der Bearbeitung und Wärmebehandlung abhängig ist, berechnen.

Als Beispiel diene folgende Zusammenstellung:

Chemische Analyse vH				Mikrohm pro cm/cm²	Bruchgrenze	
C	Si	Mn	Σ C	σ	Direkt bestimmt kg/mm²	Berechnet (σ × Faktor) kg/mm²
0,34	0,175	0,42	0,51	20,1	54,8	54,3
0,33	0,245	0,54	0,55	21,0	56,2	56.7
0,42	0,215	0,50	0,62	22,7	60,4	61,3
0,42	0,260	0,55	0,65	24,0	64,0	64,8

Auch bei legierten Stählen besteht ein Zusammenhang zwischen Σ C und den mechanischen Eigenschaften, jedoch verschieden für die einzelnen Qualitäten, und die Ergebnisse müssen jeder Qualität entsprechend ausgewertet werden. Auch andre Eigenschaften, die von dem Material gefordert werden, können mit Σ C in Beziehung gebracht werden. Unzählige Beispiele könnte man für die Anwendbarkeit des Verfahrens hinsichtlich einer schnellen und billigen Prüfung, ob der Einsatz für einen bestimmten Zweck brauchbar ist, anführen.

In denke z. B. an Material, das einer Beschußprobe genügen soll, wie es bei Panzerstahl, z. B. für Infanterieschilder, der Fall ist. Hierbei ist für das gute Ergebnis nicht nur die Materialqualität, sondern mehr noch als sonst die Wärmebehandlung maßgebend. Durch Widerstandsmessung an einer wärmebehandelten Probe kann man noch vor dem Auswalzen des Einsatzes bestimmen, ob das Material tauglich ist.

Um den spezifischen elektrischen Leitungswiderstand bei Telegraphendraht nachzuprüfen, ist die Anwendbarkeit des Verfahrens ohne weiteres klar. Um ganz genau zu sein, ist im allgemeinen die gewöhnliche Meßlänge von 100 mm hinreichend.

Bestimmung der thermischen Umwandlungen bei Stahl.

Durch Messen des spezifischen elektrischen Widerstandes bei verschiedenen Temperaturen hat Enlund ein gutes und sicheres Verfahren gefunden, um die thermischen Umwandlungen im Stahl zu bestimmen. Ein großer Vorzug ist, daß dabei bis auf die Einspannvorrichtung dieselben elektrischen Geräte verwendet werden können wie bei der Kohlenstoffbestimmung, wodurch sich die Anschaffungskosten auf ein Mindestmaß verringern.

Enlund bediente sich, wie schon erwähnt, des sich ändernden spezifischen elektrischen Leitungswiderstandes, um in einer Kurve die thermischen Umwandlungen, bezogen auf die Temperatur, zu konstruieren. Gegebenenfalls kann es von Wert sein, die absolute Größe des spezifischen Widerstandes einzuführen, aber gewöhnlich genügen die gemessenen Spannungsabfälle. Man erspart dadurch Berechnung.

Abb. 1 zeigt die Vorrichtungen, welche von der A.-G. Kloster, Langshyttan, zusammengestellt worden ist. Vorn auf dem Bild ist die Einspannvorrichtung des früher beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung der Beimengungen und der Festigkeit angegeben. Mit dieser einen Vorrichtung können also Versuche nach beiden Verfahren ausgeführt werden.

Abb. 2 veranschaulicht in einer schematischen Zeichnung den Zusammenbau der Einrichtung und den Einbau im Ofen, der dazu dienen soll, das Probestück richtig zu lagern. Stickstoffgas aus dem Behälter *a* wird mittels der Druckvorrichtung *b* und *c* in langsamem Strom durch die Quarzröhre *d* hindurchgeleitet, die mit gebrochener Birkenkohle gefüllt ist. Die Röhre wird im Widerstandsofen *e* bis auf etwa 800 °C erhitzt, wobei etwa 8 vH Sauerstoff, der im Stickstoffgas enthalten ist, in Kohlensäure und Kohlenoxyd umgesetzt werden. Im Gefäß *f* wird mittels Natronkalk und Chlorkalzium Kohlensäure und Wasser absorbiert. In den Absorptionsgefäßen *g*, *h* und *i*, gefüllt mit alkalischer Pyrogallussäurelösung, wird der etwa zurückbleibende Sauerstoff, in *k*, wo ammoniakalische Kupferchlorürlösung enthalten ist, Kohlenoxyd absorbiert. *l* enthält Chrom- und Schwefelsäure für Schwefelabsorption. *m* und *n* enthalten konzentrierte Schwefelsäure und Phosphorpentoxyd, um das jetzt neutrale Gas zu trocknen.

Die Gase werden hiernach in die Quarzröhre *o* hineingelassen, die das Probestück *p* enthält (s. Abb. 3 und 4). Die Quarzröhre ist an beiden Enden mit Gummipfropfen verschlossen, die mit Glasröhren durchbohrt sind. Ein paar von ihnen dienen zum Ein- bzw. Hinausleiten des neutralen Gases. Die Schnelligkeit des Gases wird mittels Hahn *q* und Wassergefäß *r* geregelt und bestimmt.

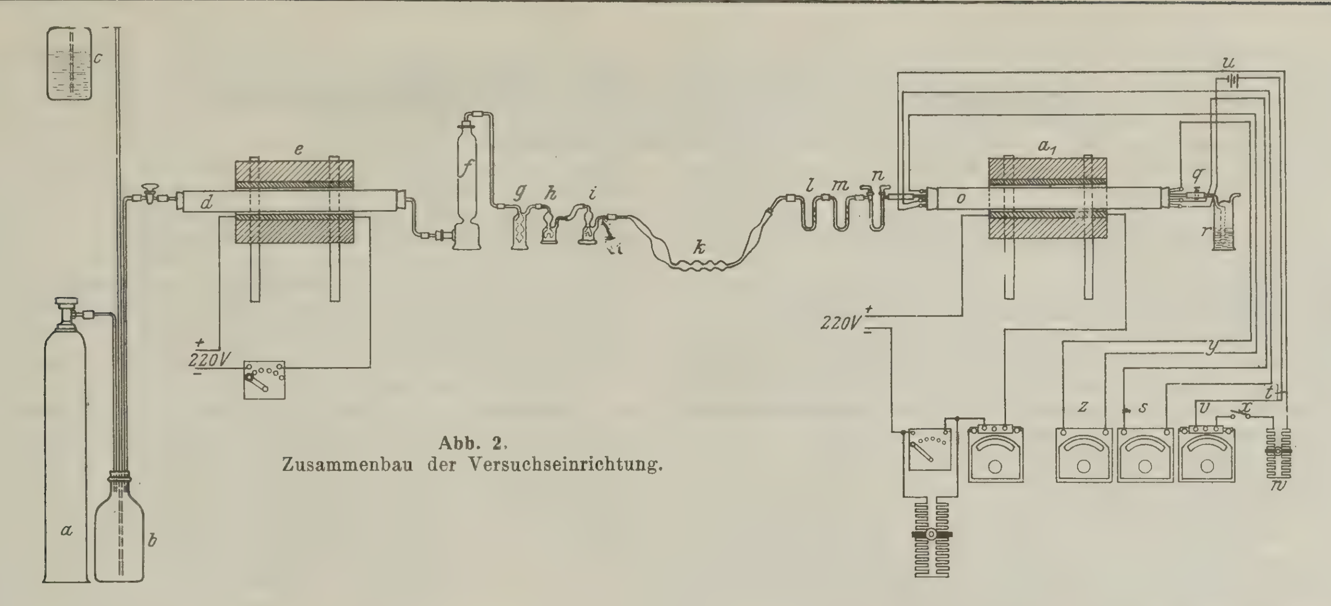


Abb. 2.
Zusammenbau der Versuchseinrichtung.

Das Probestück hat die Abmessungen 5 × 5 × 90 mm. In offenen Einschnitten sind Nickeldrähte von 1 mm Dmr. festgenietet. Der Abstand zwischen den Einschnitten beträgt rd. 30 mm. Die Nickeldrähte sind innerhalb der großen Quarzröhre durch feine Quarzröhren isoliert (nicht aufgezeichnet), und an diese wird der Millivoltmesser s angeschlossen. In die Enden des Probestückes sind Löcher gebohrt, in welchen Kupferdrähte t von 1,5 mm Dmr. festgenietet sind.[1]) In diesem Kreis sind der Akkumulator u, ein Milliamperemesser v mit Nebenschluß, Regelwiderstand und Ausschalter bei w und x eingeschaltet.

Ein Thermoelement y aus Platin-Platinrhodium ist mit einer Zwischenlage von Glimmerschuppen mit der Lötstelle gegen die Mitte des Probestückes gedrückt und mittels feiner Quarzröhren isoliert. Das Element steht in Verbindung mit dem Temperaturmesser z. Sämtliche Leitungen sind gasdicht in der großen Quarzröhre mittels Glasröhren und in diese passende kegelige Gummipfropfen eingezogen. Erhitzt wird die Probe im Widerstandsofen a_1.

Für diesen besonders genauen Versuch in neutraler Umgebung wird die Probe mit schneidenden Werkzeugen aus dem Material herausgeholt und ist infolgedessen von derselben Struktur wie dieses. Ist das Material gehärtet, so wird es vor dem Herausholen des Probestückes bei rd. 650 °C geglüht. Eine solche Behandlung hat auf die nachfolgenden Bestimmungen der thermischen Umwandlungen keinen Einfluß. An jeder Probe wird dagegen nur eine Untersuchung und diese ohne vorhergehende Erhitzung über irgendeine in dieser Hinsicht kritische Temperatur ausgeführt.

Bei weniger genauen Untersuchungen, die in einer geschlossenen Quarzröhre ohne neutrale Umgebung ausgeführt werden, und bei Untersuchungen mit Anlassen von gehärteten Probestücken werden die Leitungsdrähte autogen festgeschweißt, weil die vorhergehenden Befestigungen keinen sicheren Kontakt liefern. Beim Schweißen muß man, besonders bei Nickeldrähten, große Vorsicht walten lassen, damit das Material nicht mehr als notwendig erhitzt und anderseits nicht zu viel Nickel von dem Material geschmolzen wird.

Aus Abb. 3 geht die Anordnung des Probestückes hervor, wenn man es gerade härten will. Die umgebogenen Drähte werden nachher wieder aufgerichtet. Durch Bestimmung des Widerstandes der Probe bei steigender Temperatur erhält man eine genaue Kenntnis von der Einwirkung des Anlassens.

Gang der Untersuchung.

(Genaue Versuche in neutralem Gas.)

Wenn das neutrale Gas während 2 h durch die Vorrichtung hindurchgeströmt ist, wird der Ofen a_1 in Abb. 2 eingeschaltet. Während der Erhitzung des Probestückes wird die Quarzröhre im Ofen verschoben, so daß der zur Widerstandsmessung genommene Teil des Probestückes gleichmäßig warm ist. Das Kennzeichen hierfür ist, daß an den Anschlußstellen der Nickeldrähte keine Thermokräfte entstehen. Im allgemeinen wird mit den Messungen nicht früher als bei rd. 680 °C begonnen.

Eine Bestimmung wird auf diese Weise ausgeführt: Nachdem die Zeit aufgeschrieben ist, wird die Temperatur des Probestückes mittels des Thermoelementes gemessen und am Galvanometer z abgelesen. Dann läßt man den Akkumulatorenstrom durch das Probestück fließen, wobei die Stromstärke auf 5 oder 10 Amp geregelt wird. Der Spannungsabfall in dem zwischen den festgenieteten Nickeldrähten gelegenen Probenteil wird abgelesen, wonach man den Akkumulatorenstrom unterbricht, um festzustellen, inwieweit ein Thermostrom im Kreise fließt. Bei den thermischen Umwandlungen zeigen sich zuweilen unbedeutende Thermoströme, die indessen korrigiert werden. Die Stromzufuhr zu Ofen a_1 wird so geregelt, daß die Temperatur des Probestückes bei wichtigeren Temperaturabständen nicht mehr als bis zu 1 °C auf 5 min. verändert wird. Oft wird auch längere Zeit gebraucht. Nachdem der Versuch abgeschlossen und die Probe kalt geworden ist, soll diese bei Herausnahme aus dem Ofen ebenso blank sein wie beim Hineinlegen. Die Farbe darf indessen doch etwas ins Graue gehen. Die Haltepunkte $Ac_{1,2,3}$ und $Ar_{1,2,3}$ lassen sich sehr gut nach diesem früher beschriebenen Verfahren bestimmen. Ac_{cm} und Ar_{cm} bestimmt man indessen auf andere Art. Da man deren Lage ungefähr durch Widerstandsmessungen gegebenenfalls in neutraler Atmosphäre findet, wurde eine Reihe Probestücke derselben Form wie für Kohlebestimmungen hergestellt. Diese wurden danach bei verschiedenen Temperaturen gehärtet und nach jeder Härtung der elektrische Widerstand bestimmt. Um Ac_{cm} zu bestimmen, wurde mit steigender Temperatur gehärtet, und Ac_{cm} wird bei der Temperatur als erreicht angesehen, wenn keine Widerstandserhöhung mehr festgestellt wird. Zur Bestimmung von Ar_{cm} wurden die Proben über Ac_{cm} hinaus erhitzt, danach um einige Wärmegrade abgekühlt und dann bei fallender Temperatur gehärtet. Ac_{cm} wird als erreicht angesehen, wenn die erste Widerstandsverminderung eintritt.

Es lassen sich somit alle für die Wärmebehandlung wichtigen Temperaturen durch Widerstandsmessung ermitteln.

[A 1900]

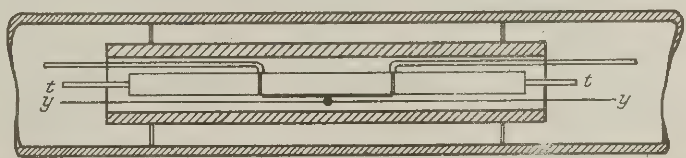


Abb. 3. Einbau der Probe in o.

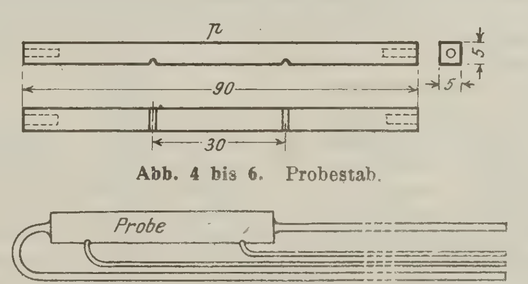


Abb. 4 bis 6. Probestab.

Abb. 7. Anordnung der Anschlüsse.

[1]) Die Kupferdrähte können natürlich auch durch Einschnitte befestigt werden.

Entnahme und Reinigung von Oberflächenwasser
für industrielle Anlagen.

Dipl.-Ing. Alexander Vogt, Borna b. Leipzig.

Darstellung und Wirkungsweise einiger neuerer Anlagen zur wirtschaftlichen Entnahme und Reinigung von Flußwasser beim Vorhandensein eines besonderen Zuführunggrabens zur Fabrik und bei Entnahme unmittelbar aus dem Fluß.

Zur Wasserversorgung von Industriewerken wird, wo es angeht, mit Vorliebe Oberflächenwasser aus Flüssen oder Bächen verwendet, weil Flußwasser immer frei von Eisen und meistens weich ist, auch fast immer in praktisch unbegrenzter Menge zur Verfügung steht, während bei der Wasserversorgung mit Grundwasser der Eisengehalt, die Härte und gelegentlicher Wassermangel oft recht störend empfunden werden.

Die einzige Schwierigkeit, die im allgemeinen der Flußwasserversorgung entgegensteht, ist großer Gehalt an schwimmenden Fremdkörpern, unter denen Fischbrut und Wasserpflanzen, Baumlaub im Herbst, Straßenschlamm und Abfälle aller Art bei Hochwässern und Verunreinigungen durch Industrieabwässer an erster Stelle zu nennen sind. Diese Fremdkörper schwimmen mit dem Flußwasser an die Siebe und Rechen der Wasserzufuhrkanäle und verstopfen sie. Die Zerfallserzeugnisse der absterbenden Tiere und anderer fäulnisfähigen Stoffe dringen zugleich mit den feinern Schmutzstoffen bis in die Pumpen und Rohrleitungen, versetzen die Saugkörbe und füllen die Saugschächte der Fabrikwasserhaltungen mit zähem, übelriechendem Schlamm. Kommt noch dazu, daß diese Anlagen schwer zugänglich und ohne gut arbeitende mechanische Reinigungsvorrichtungen hergestellt sind, so daß das Ausräumen des Schlammes womöglich mit der Hand vorgenommen werden muß, so werden die Flußwasserfassung und Pumpstellen leicht zur Kloake und ständigen Quelle des Verdrusses für den Fabrikleiter und seine verantwortlichen Angestellten.

Wie außerordentlich groß die mit dem Flußwasser andringende Menge von Schmutzstoffen ist, habe ich vor einigen Jahren bei örtlichen Feststellungen an einem sächsischen Flusse sehen können. Das dortige Wasser hatte bei normalem Abfluß einen Schlammgehalt von 0,01 bis 0,3 g/l, der bei einem kleinen Hochwasser bis 2 g/l stieg. Die mit diesem Wasser der Wasserhaltung und den Filtern der Industrieanlage zugeführte Schlammenge war demnach bei 1000 m³ Tagesentnahme 10 bis 300 kg normal und stieg bei dem kleinen Hochwasser bis auf 2000 kg in 24 h. Der bei Hochwasser herangeführte Schlamm enthält neben den leichten Schwebestoffen meist sehr viel Sand, ist also schwer beweglich und wird ensprechend lästig bei der Reinigung der Wasserhaltungen und Filter der Industrieanlagen empfunden.

Man sollte daher den Flußwasserfassungen mehr Aufmerksamkeit zuwenden, als dies bisher meist geschieht, und vor allem darauf sehen, daß die mit dem Wasser andringenden Fremdkörper möglichst schon an der Entnahmestelle zurückgehalten und von dort regelmäßig mit einfachen, leicht bedienbaren und sicher arbeitenden Vorrichtungen entfernt werden.

Sehr viele Industrien entnehmen nun das Flußwasser nicht nur zum unmittelbaren Verbrauch, z. B. für ihre Kesselspeisung, sondern sie benutzen es als Waschmittel für alle möglichen Zwecke und schicken es als mehr oder weniger reines Abwasser dem Flusse wieder zu. Wenn aber das Abwasser einer Industrie nicht völlig rein ist, so gibt der Industrielle den Unterliegern Grund zur Klage wegen Verschmutzung des Flußlaufes, und er wird schadenersatzpflichtig. Ist aber der Industrielle in der Lage, nachzuweisen, daß sein Abwasser nur ebensoviele oder noch weniger Schwebeteile im Jahresdurchschnitt enthält, als er dem Fluß mit dem entnommenen Verbrauchswasser entzieht, so kann, wenn er nicht gerade chemische Verunreinigungen, Giftstoffe usw. in seinem Abwasser hat, kein Unterlieger ihn zum Schadenersatz heranziehen, und damit wird den meisten Ersatzansprüchen an die Industrie wegen Wasserschäden ohne weiteres die Grundlage entzogen.

Ich bringe im nachstehenden einige Konstruktionen mit Erläuterungen für die wirtschaftliche Entnahme und Reinigung von Flußwasser für industriellen Bedarf und bemerke dazu, daß selbstverständlich solche Anlagen sich nach den örtlichen Verhältnissen richten und darum in allen Fällen gesondert bearbeitet werden müssen. Meine Vorschläge können daher nur allgemeine Konstruktionsrichtlinien bringen; ihre jeweilige Ausgestaltung ist Sache des beratenden Wasserfachmanns, dessen Inanspruchnahme seitens der Fabrikleiter bei solchen Neuanlagen ganz besonders nötig ist.

Die erste Annahme soll sein, daß der Industrielle sein Betriebswasser in einem besonderen Zuführungsgraben (Mühlgraben) an seine Fabrik heranführt. Der Graben habe geringeres Gefäll als der Flußlauf, so daß das Grabenende bei der Fabrik beträchtlich höher liegt als das Flußbett.

In diesem Falle wird man in den Zuführungsgraben nahe der Fabrik ein wagerecht liegendes Kiesfilter einbauen, wie Abb. 1 und 2 darstellt. Das Rohwasser fließt unter dem Kiesfilter entlang, und die Mühlgrabensohle erhält unter dem Filter eine Anzahl trichterförmige Vertiefungen, in dem sich die gröberen, im Mühlgraben herangeführten Sinkstoffe sammeln. Unter der so unterteilten Mühlgrabensohle wird eine Tonrohrleitung geführt, die bei jedem der Absitztrichter eine verschließbare Öffnung hat. Die Tonrohrleitung mündet in der Nähe des Unterwassergrabens auf ein Schlammbeet, auf das der in den Absitztrichtern angesammelte Schlamm von Zeit zu Zeit durch Öffnen der im Trichtertiefsten angebrachten Verschlußvorrichtungen abgelassen wird. Das Verbrauchwasser der Fabrik fließt von unten nach oben durch die Filter, die mit Kies oder Schlacken von der für den gewünschten Reinigungseffekt geeigneten Korngröße beschickt sind. Die Filterbetten selbst werden von Zeit zu Zeit durch Rückspülung reinen Wassers gereinigt. Die einfache Filtration von unten nach oben mit ihrer sehr bequemen Reinigung des Filterbetts durch Rückspülung mit Reinwasser habe ich erstmalig 1919 bei der Konstruktion des Trinkwasserfilters für die Wohnhäuser am Tagebau II der Braunkohlenwerke Dora und Helme in Großgössen, Bez. Leipzig, angewendet. Die Anlage arbeitet seit etwa vier Jahren einwandfrei.

Mit diesem Wasserfilter verbindet man vorteilhaft eine Reinigungsanlage für den nicht mit Filtern ausgerüsteten Teil des Mühlgrabens. Diese besteht darin, daß man die oben erwähnte, in das Schlammbeet mündende Tonrohrleitung rückwärts bis zum Beginn des Mühlgrabens verlängert und in sie gelochte, verschließbare, oben offene Tonrohrabzweige einmünden läßt (DRP. 374 612). Diese Einmündungen der Tonrohrabzweige in die Schlammabflußleitung werden von Zeit zu Zeit geöffnet und dann der angesammelte Schlamm in der Umgebung der Abzweige durch Rechen aufgewühlt, so daß er mit Wasser verdünnt durch die Schlammabflußleitung auf das Schlammbeet abfließt. Von dem Schlammbeet, aus dem das Wasser im filtrierten Zustande abfließt, wird der abgetrocknete, stichfeste Schlamm zeitweilig mit Baggern oder von Hand entfernt und zu weiterer Verwendung abgefahren.

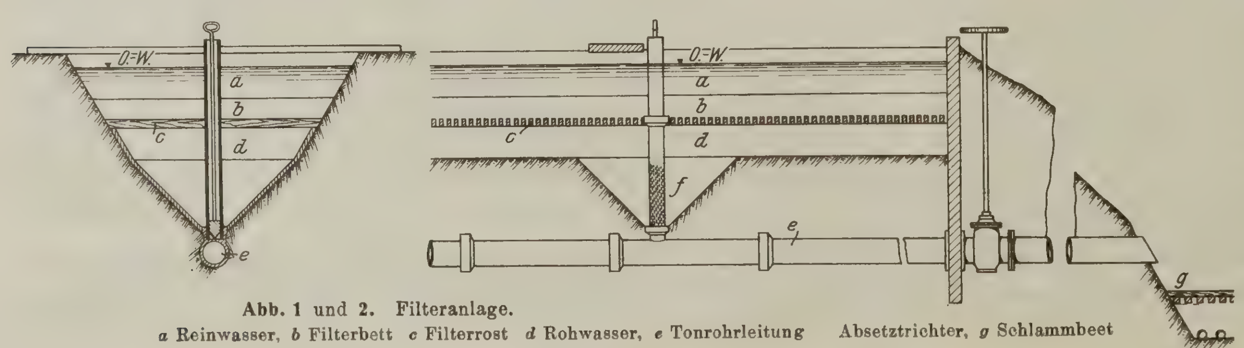


Abb. 1 und 2. Filteranlage.
a Reinwasser, *b* Filterbett *c* Filterrost *d* Rohwasser, *e* Tonrohrleitung Absetztrichter, *g* Schlammbeet

Zuweilen ist es erwünscht, die größere Menge des Verbrauchwassers nur von den gröberen Verunreinigungen zu befreien (z. B. für Kondensatorkühlung usw.) und daneben einer

kleinen Teil, der z. B. als Kesselspeisewasser dienen soll, ganz blank zu filtrieren. In diesem Falle wird man die Filterbetten, Abb. 1 und 2, mit so grobkörnigem Material beschicken, daß nur die groben und schweren Verunreinigungen des Wassers in dem Filter zurückgehalten werden, dagegen die feinen Schwebstoffe durch die Filterschicht durchfließen. Das damit grob filtrierte Verbrauchswasser wird dann der Fabrik zugeleitet und hier ein Teil durch besondere Feinfilter durchgeschickt. Als Feinfilter für die Industrie halte ich unter anderem zwei Konstruktionen für vorteilhaft, die in Abb. 3 und 4 dargestellt sind und nachstehend beschrieben werden.

Abb. 3 zeigt ein Filter mit wagerechten Filterschichten, durch die das Wasser durchtritt und auf denen es seine Verunreinigungen zurückläßt. Man wird es gern in solchen Fällen anwenden, wo viel Bauplatz zur Verfügung steht oder vorhandene Behälter, die vielleicht bisher schon zu Klärzwecken des Wassers benutzt wurden, der Kostenersparnis halber ausgenutzt werden sollen. Wenn es die örtlichen Verhältnisse irgend zulassen, beschicke ich ein solches Filter von unten und oben gleichzeitig mit dem Rohwasser und ziehe das Reinwasser durch wagerechte Reinwasserrohre aus einer zwischen den Filtern liegenden groben Kiesschicht. Die Reinigung der filtrierenden Sandschichten von dem oberflächlich angesammelten Schlamm erfolgt in regelmäßigen, durch die Qualität des Rohwassers bedingten Zeitabständen für die untere Sandschicht durch einfache Rückspülung mit Reinwasser, und für die obere Sandschicht ebenfalls durch Rückspülung, aber mit gleichzeitigem Aufharken des Schlammes mit Rechen oder Rührwerken. Durch diese Anordnung wird die Fläche des Filters gegenüber der normalen Filtration nur von oben nach unten doppelt ausgenutzt und entsprechend hohe Filterleistung erreicht.

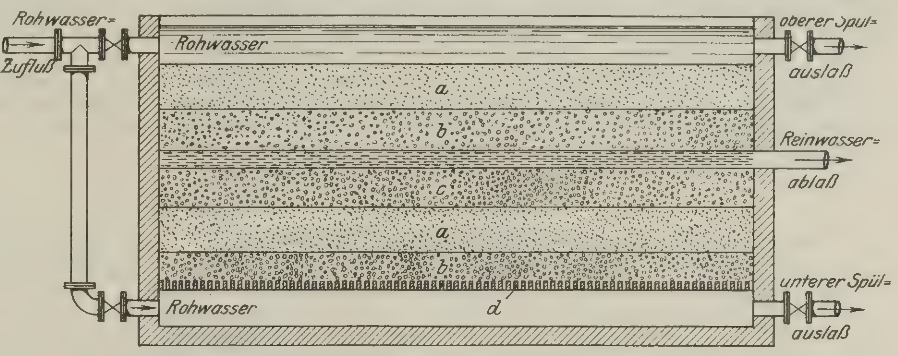


Abb. 3. Filter mit wagerechten Filterschichten.
a filtrierende Sandschicht, *b* Kiesschicht mit nach unten zunehmendem Korn. *c* Kiesschicht mit nach oben zunehmendem Korn. *d* Filterrost

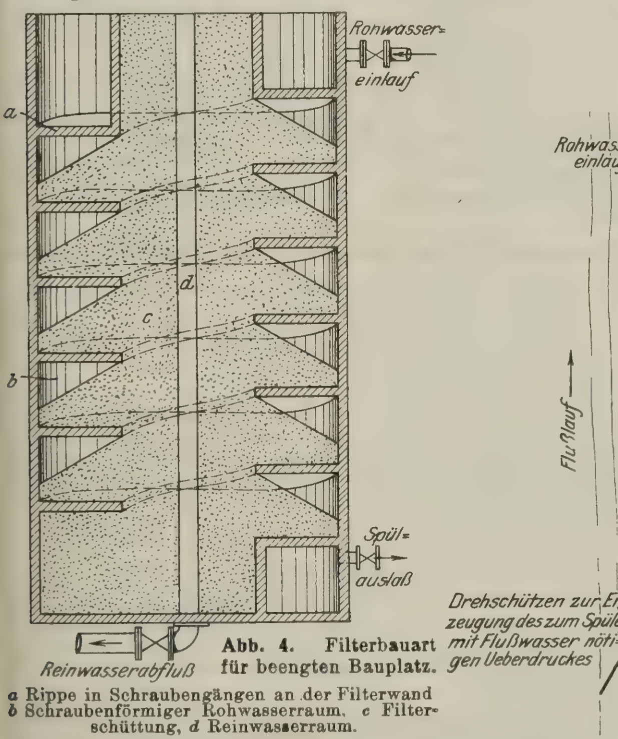


Abb. 4. Filterbauart für beengten Bauplatz.
a Rippe in Schraubengängen an der Filterwand
b Schraubenförmiger Rohwasserraum. *c* Filterschüttung, *d* Reinwasserraum.

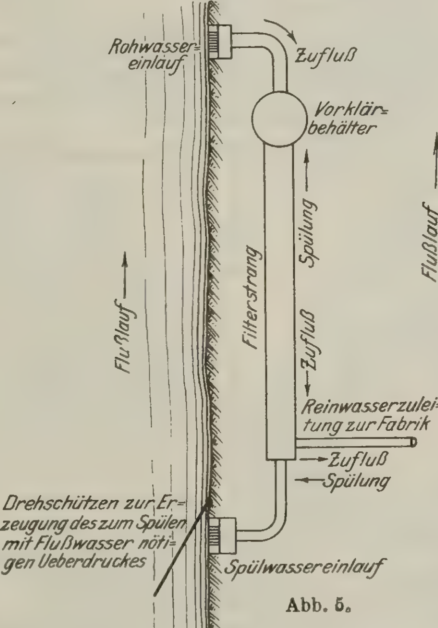


Abb. 5.

Abb. 6.

Rohwassereinlauf
Vorklär=
behälter
Filterstrang
Reinwasser-
Pumpenschacht
in der Fabrik
Spülung
Zufluß
Zuleitung
Flußlauf
Spülwasserzufluß
aus der Fabrik

Abb. 5 und 6. Filterquerschnitte für Wasserentnahme unmittelbar aus einem Flußlauf.

Dieses Konstruktionsprinzip ist bei den Kesselwasser-Filteranlagen der Braunkohlenwerke Victoria in Lobstädt, Bez. Leipzig, mit Rohwasser von der Pleiße (1922) und Kiefernschacht bei Meuselwitz (Thüringen) mit Grubenwasser als Rohwasser (1923), sowie bei dem Trinkwasserfilter der Grube Heureka bei Meuselwitz mit Tagebauabwasser als Rohwasser (1923) angewendet worden.

Wenn das Filter in einem engen Fabrikhof aufgestellt werden soll, wo nur wenig Bauplatz zur Verfügung steht, so verwendet man die Filterkonstruktion Abb. 4 (DRP. a.). Bei dieser Konstruktion, die für offene oder geschlossene Filter gebaut werden kann, dient als Filtergefäß entweder ein Betonzylinder oder ein alter, ausgebauter Dampfkessel, der senkrecht auf ein Betonfundament aufgestellt wird. Die Konstruktion besteht darin, daß man an die Innenwand des Filtergefäßes eine eiserne oder Betonrippe in Schraubenwindungen anbaut und in der Mitte ein senkrecht stehendes Brunnenfilter oder einen Reinwasserraum mit filtrierender Wandung aufstellt. Dann wird das Filtergefäß mit dem Filtermaterial (Sand, Kies oder gesiebte Schlacke) gefüllt. Das Filtermaterial läßt bei seiner Lagerung in dem Filtergefäß unter der Rippe einen Hohlraum von dreieckigem Querschnitt offen, der sich entsprechend der Rippenanordnung in Schraubengängen an der inneren Filterwand hinzieht.

Dieser Raum wird mit dem Rohwasser beschickt, und die Böschung des Filtermaterials ist die Filteroberfläche, durch die das Wasser durchtritt, um die Filterschüttung in radialer Richtung zu durchfließen und sich in dem Reinwasserbehälter zu sammeln. Die Vorteile der Konstruktion liegen, abgesehen von der großen Filterfläche und der bequemen und billigen Herstellung, hauptsächlich in der Bedienung, denn diese besteht lediglich in der gelegentlichen Spülung durch Öffnen eines Spülschiebers am Ende des schraubenförmigen Rohwasserraumes. Dann fließt das Wasser mit entsprechender Geschwindigkeit durch die Schraubenwindungen und nimmt dabei den auf der Böschung des Filtermaterials angesammelten Schlamm mit. Diese Spülung wird noch durch die sofort einsetzende Rückspülung von der Reinwasserseite her unterstützt, so daß das Filter allein durch die Öffnung des Spülschiebers in kürzester Zeit gereinigt wird. Das bei der Spülung aus dem Filter mit der Schlammschicht herausgebrachte Filtermaterial wird in einem kleinen Spülbecken aufgefangen und nach gründlicher Auswaschung wieder oben eingeschüttet. Die so angelegten Filter haben den Vorteil, daß ihr Inneres nicht begehbar, also keinen Verunreinigungen ausgesetzt ist. Sie können als Türme oder Schächte in oder außerhalb von Gebäuden ausgeführt werden und beanspruchen den denkbar geringsten Raum. Das Spülwasser der Filter kann man den oben erwähnten Schlammbeeten oder dem übrigen Abwasser der Fabrik zuführen.

Die Filterkonstruktion, Abb. 4, ist bisher für die Trinkwasserversorgungen von Ober-Mölbitz bei Altenburg mit Rohwasser der Grube Altenburger Kohlenwerke (1922), sowie von Kusendorf bei Meuselwitz mit Rohwasser vom Tagebau Heureka (1923) und für die Kesselwasserversorgung der Schädegrube bei Meuselwitz mit Rohwasser vom Tagebau Schäde (1923) benutzt worden.

Bei der zweiten Betriebsannahme, daß nämlich das Betriebswasser der Fabrik unmittelbar aus einem Flußlauf entnommen

werden muß, ist das wagerechte Kiesfilter, Abb. 1, mit den Betriebsvoraussetzungen angepaßten Abänderungen (vgl. z. B. den Filterquerschnitt Abb. 5) ebenfalls vorteilhaft anwendbar. Man wird das Filter, dem ein größerer Sandfang oder Vorklärbehälter (z. B. gemäß Abb. 5) vorgeschaltet sein muß, an dem Uferrande des Flusses entlang legen, um zum Herausspülen der eingeschlämmten und durch Rückspülung aus der Kieslage entfernten feinen Schwebestoffe nach Bedarf das Flußwasser selbst zu verwenden, Abb. 5, oder man legt das Filter in einen Zuführungsgraben in der Richtung vom Flusse nach der Fabrik und spült mit geklärtem Abwasser, Abb. 6. In allen diesen Fällen geht neben der Ausspülung der Rohwasserrohre mit Rohwasser eine Rückspülung der Kieslage selbst durch rückwärts fließendes Reinwasser, das von oben nach unten durch den Kies fließt und dabei die in den Kies eingespülten Schwebestoffe zum Abfallen in das Rohwasserrohr veranlaßt. Der Vorklärbehälter, Abb. 5, ist als Absitzschacht mit gleichzeitiger Ausscheidung der Sink- und Schwimmstoffe nach unten und oben konstruiert. Das Spülwasser beim Rückspülen des Filters geht durch den Durchflußraum dieses Klärschachtes hindurch und wird hier den größeren Teil der zusammengeballten Schwebstoffe abscheiden, so daß dem Flusse selbst nur die allerfeinsten Teile, die bei dem langsamen Durchfluß durch den Absitzraum sich nicht ausscheiden, zugeführt werden. In dem Vorklärbehälter wird ein Schlammheber fest eingebaut, der den am Boden sich absetzenden Sand und andre Fremdkörper durch zeitweilige Hand- oder Motorarbeit herausholt.

Die weiteren Reinigungsanlagen gemäß Abb. 3 und 4 werden durch die verschiedenen Betriebsvoraussetzungen der Flußwasserentnahme nicht berührt.

Bei dieser zweiten Betriebsannahme, daß das Betriebswasser ohne Mühlgraben unmittelbar dem Flusse entnommen wird, spielt die Größe des Vorklärbehälters, Abb. 5, insofern eine beträchtliche Rolle, als nur diejenigen Schwebestoffe, die in dem Sandfange sich im Betriebe und bei den Filterspülungen absetzen, endgültig dem Flusse entzogen werden. Wenn es also der Fabrik darauf ankommt, möglichst alle Schwebestoffe, die der Fluß mit dem Betriebswasser der Fabrik zuführt, in dem Vorklärbehälter abzusetzen und aus diesem durch den Elevator zu entfernen, so wird man ihn recht groß bauen, etwa für 1 mm/s oder noch geringere Durchflußgeschwindigkeit. Im andern Falle, wenn nur der wegen seiner schweren Beweglichkeit in dem Filter lästige Sand und grobe Verunreinigungen aus dem Flußwasser endgültig entfernt werden sollen, genügt der Sandfang mit 10 bis 20 mm/s Durchflußgeschwindigkeit vollkommen. [A 1954]

Formänderung eines gewölbten Bodens bei Innendruck.

Die Mitteilung in Nr. 12 dieser Zeitschrift ist außerordentlich wertvoll, weil sie die Allgemeinheit erneut darauf hinweist, wie wichtig es ist, auch in der gegenwärtigen Zeit trotz drückendster wirtschaftlicher Not diejenigen Stätten zu unterstützen, welche dazu berufen sind, die wissenschaftlichen Grundlagen des Ingenieurwesens zu fördern. Weiter zeigt die Mitteilung aber auch, daß es Sache der Industrie ist, den schon lange vorliegenden Ergebnissen früherer wissenschaftlicher Versuche bei ihren Arbeiten weit mehr Aufmerksamkeit zu schenken, als bisher. Rechnet man z. B. die Wandstärken der beiden Böden nach den schon seit Jahren bekannten, in den „Bauvorschriften für Landdampfkessel“ sowie in den für Preußen erlassenen „Bauvorschriften für Dampffässer“ enthaltenen Formeln nach, so ergibt sich:

D e r o b e r e B o d e n. Bei 1600 mm äußerem Durchmesser der zylindrischen Krempe ist nach den Veröffentlichungen der Walzwerke als innerer Halbmesser in der Mitte der Wölbung üblich $r = 2000$ mm. Hiermit ergibt sich nach Abschnitt VI der „Bauvorschriften für Landdampfkessel“ die erforderliche Blechdicke

$$s = \frac{p\,r}{200\,k} = \frac{10 \cdot 2000}{200 \cdot 6{,}5} = 15{,}4 \text{ mm}.$$

Die gewählte Blechstärke von 16 mm ist somit unter den in Ziffer 2 a. a. O. erwähnten Voraussetzungen ausreichend.

D e r u n t e r e B o d e n. Während der obere Boden innerem Überdruck ausgesetzt ist, wirkt auf den unteren Boden der Druck im Luftbehälter als äußerer Überdruck. Dieser Boden ist daher nach Abschnitt VIII der „Bauvorschriften für Landdampfkessel“ zu berechnen[1])

$$s = \frac{p\,r}{200\,k} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

worin als Beanspruchung für geglühtes Flußeisen bis zu $k = 6{,}5$ kg/mm² gegenüber Druck und bis zu $0{,}4\,k_0$ gegenüber Einbeulung zulässig ist. Die Einbeulungs-Druckspannung ist

$$k_0 = A - B\sqrt{\frac{r}{s}} \quad \ldots \ldots \quad (2).$$

Mit diesem Wert ist

$$k = 0{,}4\,k_0 = 0{,}4\left(A - B\sqrt{\frac{r}{s}}\right)$$

und damit aus Gl. (1)

$$\sqrt{\frac{r}{s}} = -\frac{40\,B}{p} \underset{(-)}{+} \sqrt{\frac{80\,A}{p} + \left(\frac{40\,B}{p}\right)^2} \quad \ldots \ldots \quad (3).$$

Nach den Bauvorschriften sind für den vorliegenden Fall zulässig

$$A = 26, \quad B = 1{,}15.$$

Somit ist

$$\sqrt{\frac{r}{s}} = -\frac{40 \cdot 1{,}15}{10} \underset{(-)}{+} \sqrt{\frac{80 \cdot 26}{10} + \left(\frac{40 \cdot 1{,}15}{10}\right)^2} = 10{,}53$$

$$\frac{r}{s} = 10{,}53^2 = 110{,}88,$$

und mit $r = 2000$

$$s = \frac{2000}{110{,}88} = 18{,}04 \text{ mm}.$$

Mit Rücksicht auf die bei Luftbehältern zu erwartende Verschwächung durch Abrosten wäre eine noch größere Wandstärke, als die Rechnung ergibt, und zwar mindestens 20 mm, angezeigt gewesen (ausgeführt 16 mm).

Die vorstehende Rechnung ergibt somit, daß man zur Erklärung des Unfalls nicht die Betriebsweise des Luftkompressors in Anspruch zu nehmen braucht, sondern daß auch die nach den heute üblichen Formeln unzureichende Bemessung der Wandstärke als Ursache der Formänderung des Bodens angesehen werden kann. Daß dem Eintritt der Formänderung durch das mehr oder weniger sachgemäße Vorgehen beim Einpassen des unteren Bodens in den zylindrischen Mantel Vorschub geleistet werden konnte, soll nicht unerwähnt bleiben.

Übrigens dürfte nach Lage der Umstände auch der obere Boden unter den Einflüssen des Betriebes Formänderungen erlitten haben, wenn sie auch wohl nicht festgestellt sind. Nach den vorläufigen Mitteilungen von C. B a c h in Bd. 67 (1923) Heft 50 dieser Zeitschrift über Versuche mit gewölbten Böden gegenüber innerem Überdruck dürfte diese Annahme berechtigt sein. [M 258]

Stuttgart, den 26. März 1924. Oberingenieur K a r l S c h m i d.

[1]) C. B a c h, Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Kesselwandungen, Heft 6, Berlin 1902. Z. Bd. 46 (1902) S. 333 u. f.

Die Wärmetechnik auf der Leipziger Frühjahrsmesse.

Das Mitteldeutsche Braunkohlensyndikat hat auf der Leipziger Frühjahrsmesse die Zusammenstellung einer Braunkohlenfachmesse in einem besonderen Gebäude veranlaßt. In einem Bericht, den das „Archiv für Wärmewirtschaft“ in Heft 5 über diese Veranstaltung veröffentlicht, wird auf eine Reihe von wichtigeren Neuerungen hingewiesen.

Die Braunkohlenfachmesse zeigte vor allem als neuesten Fortschritt die Mechanisierung der Roste bei Rohbraunkohlenfeuerungen, die bei größeren Kesseleinheiten immer mehr erforderlich wird. Die Neigung des handbefeuerten Schrägrostes muß nach dem natürlichen Böschungswinkel der Rohbraunkohle eingestellt werden, da sonst leicht Überschüttungen oder Leerbrennen großer Rostflächen vorkommen. Bei wechselnder Korngröße des Brennstoffes bereitet aber die fortgesetzte Nacheinstellung der Rostschräge praktisch fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Man geht daher jetzt zu Rosten über, die bedeutend flacher geneigt sind, dafür aber durch ständig bewegte Glieder den Brennstoff selbsttätig weiter bewegen oder zweckmäßig umschichten („Raupenrost“ von Adler u. Hentzen, Vorschubtreppenrost von Steinmüller, Vesuvio-Rost u. a. m.). Das „Archiv für Wärmewirtschaft“ bringt demnächst einen Vortrag von Prof. F r a n k e, Hannover, der diese Fortschritte ausführlich behandelt.

Der Bericht bringt ferner eine Abbildung und kurze Beschreibung des in Leipzig ausgestellten Kohlenstaubbrenners der AEG sowie neuer Kohlenstaubsonderwagen der „Kohlenstaub G. m. b. H. Berlin“, ausgeführt von den Linke-Hofmann-Werken.

Von ganz besonderem Wert für Gebiete, die günstig zur Braunkohle liegen, sind die neuen Rohbraunkohlen-Dauerbrandöfen, von denen der Bericht die von den Burger Eisenwerken, Burg i. Siegerland, ausgestellten „Juno“-Öfen genauer beschreibt und abbildet. Man erhält den Eindruck eines sehr vollkommenen und feindurchdachten Ofens, bei dem besonders die restlose Verbrennung der Schwelgase durch Rückführung zur Brennzone zuverlässig gelöst ist. Diese Bauart sowie verschiedene andere ebenfalls dort ausgestellte Rohbraunkohlendauerbrandöfen lassen den Schluß berechtigt erscheinen, daß die wichtige Aufgabe der Verfeuerung geringwertiger Brennstoffe in einfachen Zimmeröfen heute praktisch gelöst ist.

Auch die Anpassung der Zentralheizungskessel an geringwertige Brennstoffe ist, wie die Beheizung der Meßhalle durch eine Reihe von Zentralheizungen mit Braunkohlenfeuerung zeigte, eine Tatsache. Es handelt sich bei dem größten Teil dieser Öfen und Kessel nicht um Erstlingsversuche, sondern um bereits bewährte Ausführungen. Auch auf dem Gebiete der Grudeöfen (z. B. Grudezimmeröfen) waren manche Fortschritte zu sehen. Insgesamt lieferte die Messe den erfreulichen Beweis dafür, daß der deutsche Feuerungsingenieur durch Anpassung an kalorisch wohlfeile Brennstoffe aus der Kohlennot eine Tugend zu machen verstanden hat. [M 267]

RUNDSCHAU.

Aus dem Ausland.

Wasserkraftanlagen.

Die Druckleitung des Kraftwerkes Ritom.

Das Kraftwerk Ritom der Schweiz. Bundesbahnen, das am 13. September 1920 dem Betrieb übergeben wurde, soll im Winter die im Hauptkraftwerk Amsteg für den Betrieb der Gotthardbahn fehlende Energie liefern. Es nutzt das Gefälle des Foßbaches vom Ritomsee bis zur Einmündung in den Tessin aus.

Um den See als Wasserspeicher verwenden zu können, bohrte man ihn 30 m unter dem ursprünglichen Wasserspiegel an. Durch einen 868 m langen Stollen mit 2 m lichter Höhe und 1,6 m lichter Breite und 2,66 m² Querschnitt werden im Höchstfall 9 m³/s mit 3,4 m/s Geschwindigkeit zum Wasserschloß oberhalb Altanea und von dort durch drei Rohre mit von 1,10 auf 0,85 abnehmender Lichtweite zu dem am linken Tessinufer liegenden Kraftwerk bei Piotta geführt.

Von dem natürlichen Seeinhalt von rd. 25 Mill. m³ können durch Absenken um 27 m etwa 19 Mill. m³ nutzbar gemacht und bei etwa 800 m Nutzgefälle rd. 8000 PS als jährliche Durchschnittleistung erzielt werden. Von der Stauung um 7 m sah man zunächst ab mit Rücksicht auf sehr ungünstige Begutachtung der Geologen. Als aber eine Stauung durch die A.-G. Motor in Baden um 2 m keinerlei Wasserverluste ergab, entschloß man sich doch, den See um 7 m zu stauen. Genaue Messungen der Zu- und Abflüsse ergaben, daß Wasserverluste nicht vorhanden waren, daß im Gegenteil noch unterseeische Quellen die Zuflüsse vermehrten. Eine besondere Eigentümlichkeit des Sees war ein in 13 m Tiefe beginnender und mit der Tiefe bis auf 28 mg/l zunehmender Schwefelwasserstoffgehalt. An der Grenze in 13 m Tiefe befand sich eine durch ein Schwefelbakterium rosa gefärbte Wasserschicht. Es wurde festgestellt, daß reichliche Belüftung den Schwefelwasserstoffgehalt bis auf 0 verminderte, so daß keine Befürchtungen für den Fischbestand des Tessins zu hegen waren.

Der Zulaufstollen durchfährt in der Hauptsache Gneiß und Glimmerschiefer. Auf eine größere Strecke treten auch Dolomit und Grauwacke auf. Je nach dem Gestein erhielt der Stollen verschiedene Profile und wurde mit 15 bis 35 cm Betonstärke ausgekleidet. Ein 2 cm starker glatt abgeriebener Zementverputz erhielt Einlagen von 6 mm Rundeisen und Drahtgeflecht. Angeschnittene Quellen wurden ins Stolleninnere durch eiserne Röhren geführt, die vor der Unterdrucksetzung mit Kugelventilen versehen wurden. Der Wasserdruck von rd. 45 m erschien ungefährlich, da ins Gewölbe alle zwei Meter Löcher gebohrt wurden, durch die Zementmilch mit Sand gemischt unter einem Druck bis zu 6 at eingepreßt wurde. Hierin täuschte man sich gründlich. Die nach der Druckprobe festgestellten Risse waren zwar so fein, daß man den Stollen unbedenklich hätte in Betrieb nehmen können, wenn das Gebirge wasserundurchlässig gewesen wäre. Unter dem Druck von 45 m drang Wasser, und zwar 262 l/s auf die ganze Stollenlänge, durch die Risse, trat bei Altanea zu Tage, weichte eine Moräne auf und verursachte ein Abgleiten von Geröll auf der steilen Felsunterlage.

Das ausführliche Gutachten der Sachverständigen kommt zu dem Schluß, daß in der oberen Hälfte der Stollenlänge als Ursachen der Rißbildung hauptsächlich Hohlräume zwischen Mauerung und Gebirge, in der unteren Hälfte Gesteinlockerungen infolge von Sprengungen und Verwitterung, ferner die Zusammendrückbarkeit des Gesteins anzusehen sind[1]). Ein Auskleiden des Stollens mit Blech oder Eisenbeton hätte zu viel Zeit gekostet. Man entschloß sich deshalb, den Wasserdruck durch einen freien Abfluß am See mit anschließendem Überlauf nach dem Grundablaßstollen von 45 m auf 8 m herabzusetzen. Die Risse im Stollen wurden etwa 5 cm tief schwalbenschwanzförmig ausgespitzt. In den Grund wurde eine Asphaltmischung eingebracht, das übrige mit Mörtel ausgefüllt. Darüber kam ein Asphaltanstrich

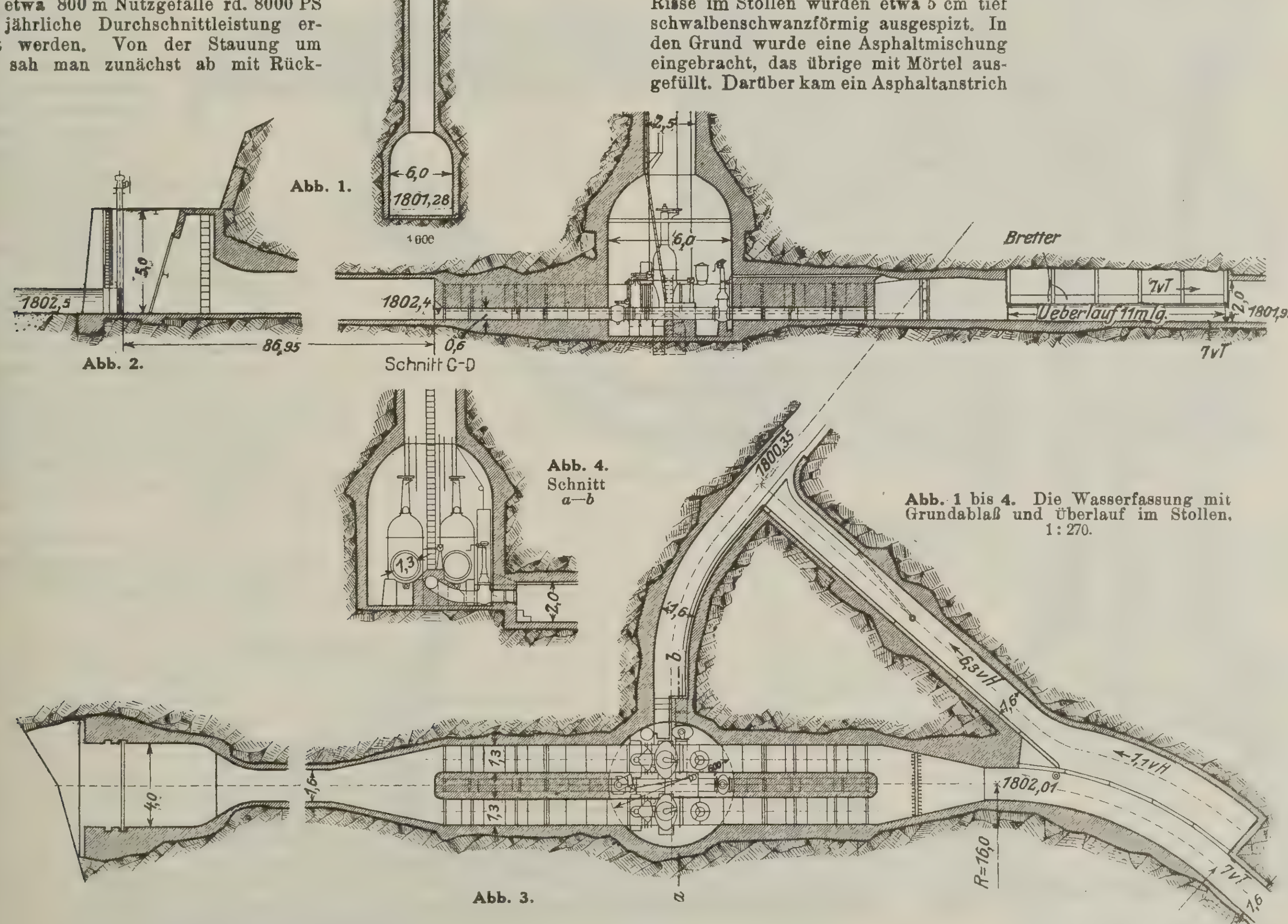


Abb. 1 bis 4. Die Wasserfassung mit Grundablaß und Überlauf im Stollen, 1 : 270.

mit Auflage aus Leinwandband, das mit Draht an den Rundeisen des Verputzes befestigt wurde. Diese Flicken haben sich bei 7,5 m Wasserdruck bis jetzt gut bewährt.

Die Anordnung der Abschlußvorrichtungen nach diesem Umbau zeigen Abb. 1 bis 4. Im Gegensatz zu bisher üblichen Gleit- und Segmentschützen wurden zwei Rohre von 1300 mm l. W. eingebaut, jedes mit Drosselklappe und Schieber versehen, sowie ein Rohr mit 600 mm l. W. mit verschließbarer Abzweigung nach dem Grundablaßstollen. Die Drosselklappen werden von Hand je nach dem Stand der Wasserstandfernmelder beim Überlauf am Seeausfluß und im Wasserschloß verstellt. Außerdem wird dem Wärter die jeweilige Belastung des Kraftwerkes durch ein Amperemeter angezeigt. Der Wärter kann so schnell regeln, daß kein Wasser durch den Überlauf verloren geht. Die einzige Einbuße besteht im Verlust von etwa 2,2 vH des Gefälles. Es ist beabsichtigt, den Stollen als Druckstollen wiederherzustellen, wenn

[1]) Vergl. a. Z. Bd. 68 (1924) S. 380.

das Kraftwerk Amsteg im Betrieb ist und das Ritomwerk während des Sommers nicht gebraucht wird.

Das Wasserschloß ist in der Form der Abb. 5 bis 7 entsprechend dem beabsichtigten Druckstollenbetrieb ausgeführt worden. Die obere Entlastungskammer muß bei plötzlichem Abstellen des Werkes und bei vollem See das nachfließende Wasser aufnehmen können. Die untere Kammer muß eine ausreichende Wassermenge enthalten, die bei abgesenktem See und raschem Anlassen der Turbinen auf Vollast gebraucht wird, bis die erforderliche Betriebwassermenge im Stollen nachfließt. Der Scheitel des Übergangstollens zu den Rohrleitungen, Abb. 7, liegt, abgesehen von dem trichterartig überhöhten Einlauf, unter dem tiefsten Wasserstand im Schloß. Das gefährliche Nachsaugen von Luft in die Rohrleitungen ist dadurch verhindert.

Ursprünglich waren zwei Rohrstränge von der Gerätekammer nach dem Kraftwerk vorgesehen. Diese hätten aber im unteren Teil Wanddicken bis zu 45 mm erhalten müssen und waren während der Kriegszeit nicht erhältlich. Man entschied sich für drei Rohrstränge, von denen zunächst zwei ausgeführt wurden. Etwa 425 m von dem Maschinenhaus ist jedes Rohr wieder gegabelt. Die Rohre sind aus S.-M.-Flußeisen mit einer Festigkeit von 34 bis 42 kg/mm² und einer Mindestdehnung von 25 vH hergestellt, überlappt geschweißt und durch Nietmuffen[1]) verbunden. Als zulässige Beanspruchung im vollen Blech sind 900 kg/cm² zugelassen. Die Festigkeit der Schweißnaht wurde zu 85 bis 90 vH nachgewiesen. Die Hosenrohre aus Stahlguß sind mit 500 kg/cm² zulässiger Beanspruchung berechnet. Die anschließenden Verteilleitungen mit 550 mm l. W. haben 8 bis 35 mm Wanddicke und sind durch Bundflanschen verbunden. Unterhalb jedes der 8 Festpunkte der Gefälleitungen sind Stopfbüchsen mit Hanfpackung und Aufzugvorrichtungen angebracht. Soweit Dichtungen erforderlich waren, wurde Rundgummi verwendet. Die Rohre wurden im Werk in heißem Zustande in Teerasphalt gebadet und nach Verlegung nochmals mit heißem Teerasphalt gestrichen.

In der Gerätekammer sind in die beiden voll verlegten Rohre je zwei Drosselklappen von 1100 mm l. W. eingebaut, von denen die eine mit Handantrieb und Umleitung zum Füllen der Druckleitung ausgestattet ist. Die zweite Drosselklappe wirkt als selbsttätiger Rohrabschluß beim Überschreiten von 3,5 m/s Wassergeschwindigkeit. Außerdem können vom Schaltstand des Werkes aus diese Klappen elektrisch geschlossen werden. Auf einem Stutzen der Hauptleitung unterhalb der Drosselklappe sitzt ein vollständiges Lufteinlaßventil, das Luft in die Leitung eintreten läßt, sobald sich in dieser ein Unterdruck einstellt. Eine Ölbremse gestattet zwar, schnell zu öffnen, aber nur langsam zu schließen. Das Ventil kann beim Füllen der Leitung von Hand geöffnet werden[2]). (Schweiz. Bauzeitung 19. und 26. Mai, 2., 9., 16. und 23. Juni 1923). [R 246] Fr.

[1]) Vergl. Z. Bd. 63 (1919) S. 941.

[2]) Über die Turbinen des Kraftwerkes haben wir in Heft 18 vom 5. Mai 1923 berichtet.

Abb. 6.

Abb. 7. Schnitt *a—b*.

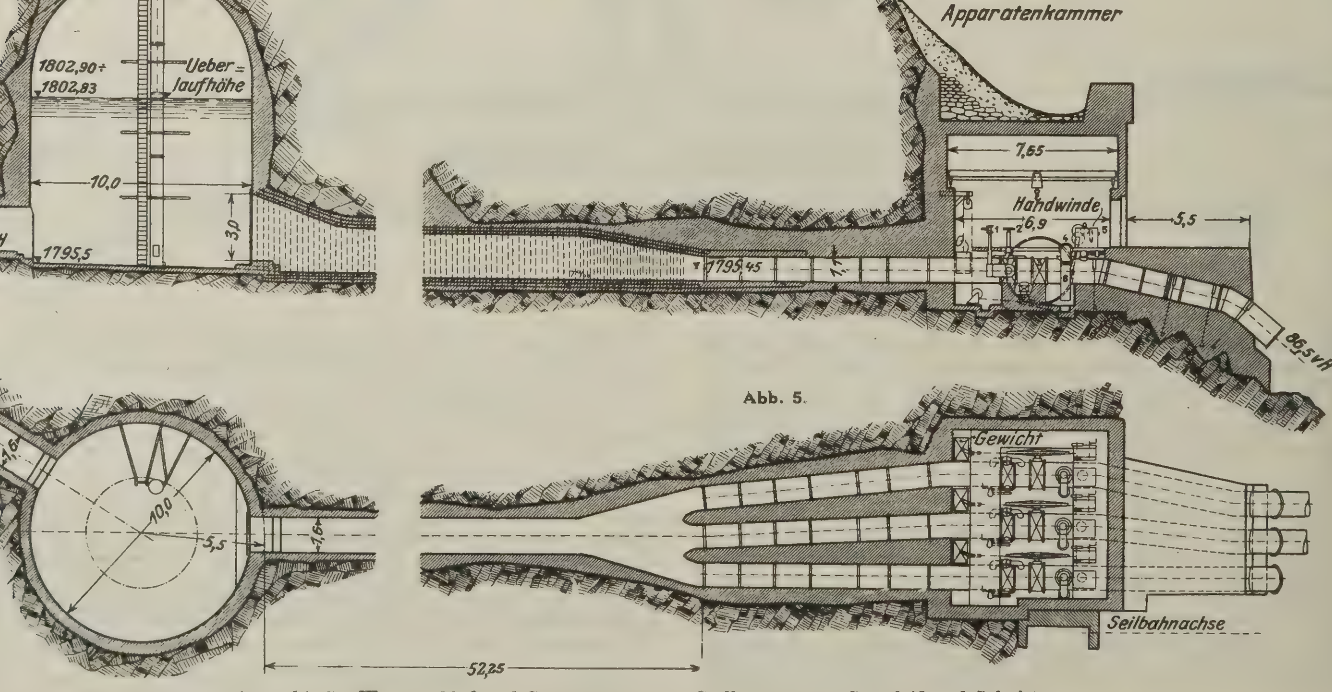


Abb. 5.

Abb. 5 bis **7**. Wasserschloß und Gerätekammer am Stollenausgang. Grundriß und Schnitte 1 : 270.

Die Wasserkräfte Rußlands.

In den letzten Jahren erschien in russischer Sprache eine Reihe von Veröffentlichungen über die Statistik der russischen Wasserkräfte. Obwohl einige Verfasser von vereinzelten angenäherten Wasservorratbestimmungen einzelner Forscher ausgingen[1]) oder sich sogar mit dem wenig kritisch bearbeiteten Nachfragematerial begnügten[2]), oder endlich aus der Topographie und den Abflußzahlen der einzelnen Gebiete ihre Schlüsse zogen[3]), so fallen doch die meisten Ergebnisse ziemlich gut zusammen, und wir sind jetzt imstande, wenigstens die Größenordnung der russischen Wasservorräte anzugeben.

Die Summe sämtlicher Wasserkräfte Rußlands (in den jetzigen Grenzen der Republik) schätzte der Verfasser im Jahre 1919 auf 19 700 000 PS (jährliche Mindestleistung), J. Moskwitinow im Jahre 1923 auf 41 259 000 PS (mittlere jährliche Leistung); Blisnjak und Kopilow schätzten 1924 nur die großen Vorräte (größer als 10 000 PS) mit Ausnahme Sibiriens auf 19 400 000 PS. Wenn man bei den einzelnen Bearbeitern nur die ihnen näher bekannten Werte entnimmt, kann man nach diesen Angaben behaupten, daß **Rußland über 24 500 000 PS Mindestleistung** und etwa 50 000 000 PS Neunmonat-Leistung an Wasserkräften verfügt. Dabei sind einige minderwertige Vorräte und Ozeanküstenvorräte (etwa 500 000 PS) außer acht gelassen.

In den einzelnen Gebieten verteilen sich die Mindestkräfte nach folgender Zusammenstellung:

Gebiet	Mindestleistung 1000 PS	Mindestleistung PS/km²
Europäisches Rußland . . zusammen	1 500	0,25
Norden und Nordwesten	800	—
Zentralgebiet	100	—
Südliches Gebiet	600	—
Uralgebirge	900	1,8
Kaukasus . . . . zusammen	9 400	—
Kubangebiet	2 200	} 60
Kumagebiet	400	
Terekgebiet	1 700	
Küstengebiet des Schwarzen Meeres . .	3 000	200
Kura-Araks-Gebiet	1 700	9
Küstengebiet des Kaspischen Sees . .	400	21
Turkestan	3 700	7
Sibirien . . . . zusammen	9 000	—
Ob-Jenissej-Selengagebiet	3 500	3
Lenagebiet (südl. Teil)	1 600	—
Amurgebiet	3 500	0,8 bis 13
Kamtschatka . . . . mehr als	400	8
Sowjet-Republik . . . . . zusammen	24 500	—

Davon waren im Jahre 1913 nicht ganz 400 000 PS (durch 3500 Turbinen und 40 000 Wasserräder) ausgenutzt. [M 394]

Moskau. Prof. Dipl.-Ing. A. Deischa.

Brückenbau.

Die weitest gespannte Bogenbrücke aus Beton[4]).

Die neuerdings fertiggestellte Brücke bei St. Pierre-du-Vauvray, in der Nähe von Rouen, überschreitet die Seine in einem einzigen Bogen von 131,8 m Spannweite bei 25 m Pfeilhöhe.

Sie besteht aus zwei 8,9 m i. M. von einander entfernten, nur durch 2 Querverbindungsträger in 5 m Höhe über der Fahrbahn gegeneinander versteiften Eisenbetonbögen, an denen die Fahrbahn mit lotrechten Hängestangen aus Stahl, die mit Beton umhüllt sind, aufgehängt ist, Abb. 8. Die Bögen haben etwas elliptische Form erhalten, wodurch der Horizontalschub herabgemindert wird. Ihr Querschnitt ist ein geschlossener Kasten von 2,5 m Höhe im Scheitel bzw. 4,1 m in den Widerlagern und von durchweg 2,5 m Breite mit 0,2 m dicker senkrechter und 0,33 m dicker wagerechter Wandung, die sich am Widerlager auf 0,6 m verstärken, Abb. 9. Die Eisenbewehrung ist verhältnismäßig gering, am größten nahe den Widerlagern. Die beiden Querversteifungen sind ebenfalls Kastenträger, haben aber nur 0,08 bis 0,10 m Wanddicke. Die Fahrbahn von 8 m nutzbarer Breite, davon 5,30 m für Fahrweg und 2 × 1,35 m für Fußwege, wird durch Eisenbetonplatten auf 1,5 m hohen Querträgern aus Eisenbetonfachwerk gebildet. Diese sind an den Enden mit Öffnungen versehen, die mit Zement ausgegossen wurden, nachdem die Hängestangen hindurchgezogen und umgebogen worden waren.

Die Hängestangen bestehen aus je 40 Stahlstäben von je 10 mm Dmr., die mit Zementmörtel in fetter Mischung umhüllt sind, so daß ein bewehrter Eisenbetonquerschnitt von 0,14 × 0,14 m entsteht. Zum Befestigen der Hängestangen oben an den Bogenträgern sind in dem Kastenträgerquerschnitt besondere Lagerkörper dadurch gebildet, daß die Wandungen des Bogens besonders stark bewehrt sind, daß ferner an den Enden der durch Öffnungen in der Unterfläche hindurchgezogenen Hängestangen die einzelnen Kabelenden nach Art der Verankerung der Kabel bei Hängebrücken in Form eines Kegelmantels auseinandergebogen und mit Zementmörtel ausgegossen worden sind, Abb. 10. Oberhalb jeder Hängestange ist ein Mannloch angeordnet, durch das der Zugang zum Innern

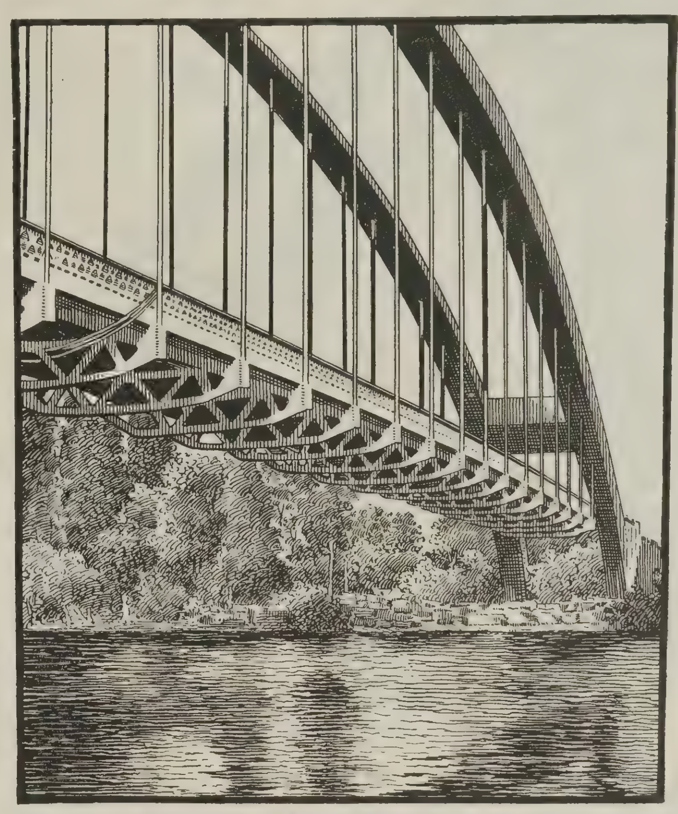


Abb. 8. Seine-Brücke bei St. Pierre-du-Vauvray.

der Bögen zwecks Besichtigung möglich ist. Unterhalb der Fahrbahnhöhe befindet sich noch eine Verbindung beider Bögen durch einen großen Kastenträger von trapezförmigem, i. M. 8 m hohem Querschnitt. Die Bögen selbst sind nach dem Widerlager zu massiv und gehen in das Widerlager über, die auf Kalkfelsen 13 m unter NW. durch Druckluft gegründet worden sind.

Der maschinell gemischte Beton wurde durch eine Doppelkabelseilbahn, die sich oberhalb der Brückenbaustelle über den Fluß in der Brückenachse in 170 m Weite zwischen zwei Ecktürmen aus Holzfachwerk spannte, eingebracht, und zwar in einzelnen Zeitabschnitten auf der ganzen Länge des Bogens zugleich derart, daß das Lehrgerüst, Abb. 11, in allen Punkten gleichmäßig fortschreitend belastet wurde. Das Bilden von Hohlräumen wurde durch Einbringen ziemlich nassen Betons und Schlagen der Schalung an der Außenseite mit Preßlufthämmern während des Einbringens verhindert.

Das Lehrgerüst mußte so unterstützt werden, daß die Schiffahrt möglichst wenig gestört wurde. Dem wurde Rechnung getragen dadurch, daß je vier Pfahlbündel aus je vier Pfählen in einer Reihe, und zwar zwei zur Unterstützung des Lehrgerüstes und zwei zum Schutz, im

Fahrbahnhöhe 5,24 0,33 5,24 0,33 0,38 0,60 0,47 0,73 65,90 13,90

Abb. 9. Längschnitt durch eine Bogenhälfte der Seine-Brücke.

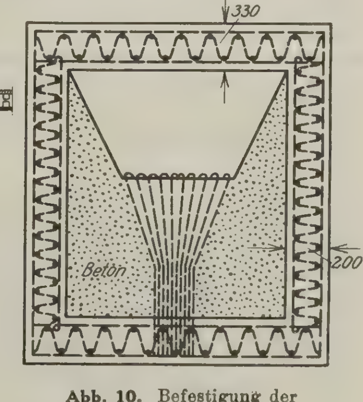


Abb. 10. Befestigung der Hängestangen

[1]) Mitt. der Wasserkräfte-Kommission des Minist. der Verbindungen 1910; Essen, Mitt. des Hydrom. Dienstes im Kaukasus, 1914; J. Moskwitinow, Die weiße Kohle Rußlands, 1923.

[2]) Wasserkräftenachfrage der K. Technischen Ges., 1913 bis 1916. Mitt. der Kommission der Elektrifikation, 1920. Blisnjak und Kopilew, Die Wasserkräfte Rußlands. Wodnoje Deno 1924.

[3]) A. Deischa, Die minimale jährliche Wasserenergie Rußlands und ihre Konzentration, Mitt. der Ing. Südrußlands, 1919; Mitt. der Russ. Ingenieure 1922.

[4]) „Le Génie Civil" Bd. 83 (1923) S. 417.

Flusse und je zwei Bündel nahe den Ufern angeordnet wurden. Auf den Unterstützungen liefen die Stützglieder, die das Lehrgerüst in etwa zwölf über die Unterseite des Bogens gleichmäßig verteilten Punkten unterstützten, fächerförmig zusammen.

Bei dem Entwurf des Lehrgerüstes wie auch bei dem der Unterstützungen, die beide aus Holzfachwerk bestehen, hat man, um Erweiterung der Bolzenlöcher und erhebliche Formveränderungen der hölzernen Konstruktionsteile zu vermeiden, nicht Holzverbindungen, sondern zusammengenagelte Bretter verwendet. Die Teile zum Bau des Lehrgerüstes wurden an Land hergestellt und durch die Seilbahn herangebracht. Die Brücke wurde nach einem bei der Brücke bei Villeneuve-sur-Lot bereits angewendeten Verfahren nicht durch Senken des Lehrgerüstes, sondern durch Heben der Bögen ausgerüstet, und zwar in der Weise, daß die beiden im Scheitel getrennten Bogenhälften durch in die Trennungsfugen eingesetzte hydraulische Winden auseinandergetrieben wurden. In den Trennungsraum wurde dann eine stark bewehrte Eisenbetonplatte als Schlußstein eingesetzt. Probebelastungen ergaben für ruhende Last und bewegliche Last nur geringe Durchbiegungen der Bögen und der Brückenbahn. [R 327] Bu.

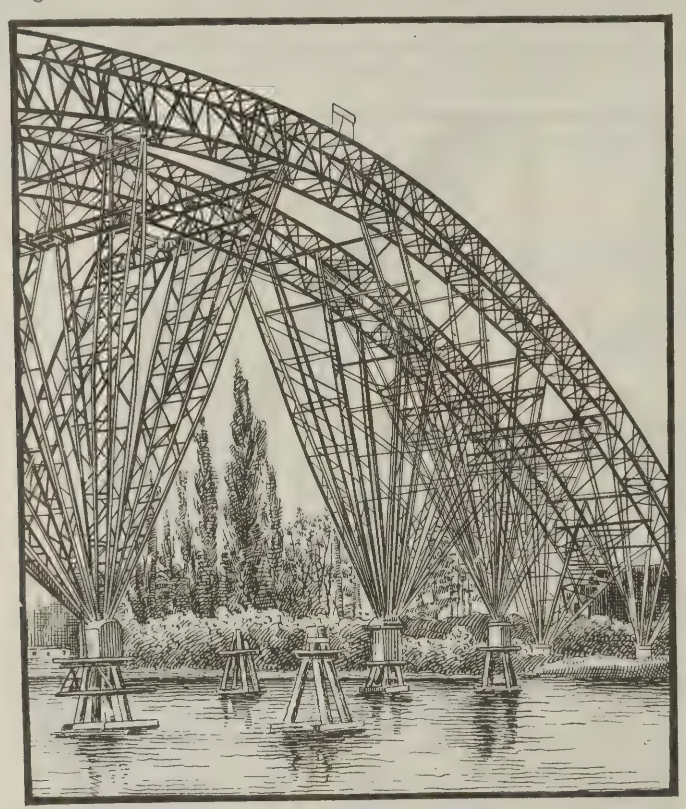


Abb. 11. Lehrgerüst der Brücke.

Die neue Hängebrücke über den Hudson.

Das Aufstellen der Türme ist im Februar d. J. abgeschlossen worden, die Vernietung ist auch nahezu fertiggestellt, so daß die Kabel in diesem Frühjahr verlegt werden können. Man hofft, mit der Brückenkonstruktion Ende dieses Jahres fertig zu sein.

Die Türme wurden auf dieselbe Art aufgestellt, wie die der Manhattan-Brücke über den East-River bei New York[1]). Eine Katze mit Derrickkran von 50 t Tragfähigkeit lief auf der Flußseite des Turmes an den fertiggestellten Teilen der Hauptsäulen entlang und wurde abschnittweise in die Höhe gezogen zum weiteren Aufbau der Hauptsäulen und der übrigen Bauteile. Der schwerste Bauteil war 16,8 m lang und 50 t schwer. Die Säulen der Türme sind nach der Spitze zu gegeneinander geneigt, Aufhängung und Befestigung der Krankonstruktion folgen daher beim allmählichen Aufbau den verschiedenen Weiten zwischen den Säulen. Für die Kabelverlegung ist ein Fußsteg oder eine Arbeitsbühne unmittelbar unter den beiden Hauptkabeln geplant, dessen Verankerung zurzeit angebracht wird. Der Plan der Brücke stammt schon aus dem Jahr 1868, mit dem Bau wurde im Frühjahr 1923 begonnen.

Die Brücke wird bekanntlich eine Hängebrücke von rd. 500 m Hauptspannweite und von 47,3 m freier Höhe über H.-W. mit 11,5 m breiter Eisenbahnfahrbahn und zwei 1,5 m breiten Fußwegen. Die westliche Zufahrtbrücke besteht aus zwei Öffnungen von 15 m, einer von 30 m und einer von 67 m Spannweite, die östliche aus einer einzigen von 67 m Spannweite. Die Haupttürme sind 107 m hoch und ruhen auf Betonpfeilern auf Fels, der nahe unter dem Wasserspiegel ansteht. Die Verankerungskammern sind geneigte Tunnel von 27 bis 33 m Tiefe. Die Stahlgußlager für die Verankerung werden zurzeit in diesen Tunnel verlegt. Die beiden Hauptkabel erhalten 0,45 m Dmr. Die Kabel für die Hängekonstruktion werden aus 7452 Paralleldrähten von 4,9 mm Dmr. an Ort und Stelle hergestellt werden. Die Versteifungsträger sollen unter der Fahrbahn liegen, damit man von der Brückenbahn aus freie Aussicht auf den Fluß behält. („Eng. News-Record" Bd. 92 [1924] Nr. 14) [M 390] Bu.

[1]) Vgl. Z. Bd. 52 (1908) S. 454 und 1140, Bd. 54 (1910) S. 158.

Materialprüfung.

Härteprüfung.

Im Journal of the Iron and Steel Institute 1923 finden sich zwei Aufsätze, die sich mit der Härteprüfung befassen. Der erste: „Ein Beitrag zur Härteprüfung" stammt von Prof. C. A. Edwards und Ch. R. Austin von der Universität Swansea.

Die Verfasser haben sich die Aufgabe gestellt, eine Beziehung zu finden zwischen der Kugelfallprobe und der Brinellschen Härtezahl, also den Zusammenhang zwischen einer dynamischen und einer statischen Härteprüfung. Sie untersuchen dazu mit einem Kugelfallgerät, ähnlich dem, das Schneider zu seinen Versuchen verwandt hat[2]) verschiedene Metalle. Die Arbeit von Schneider ist ihnen nach dem angeführten Literaturverzeichnis nicht bekannt; ihre Versuchsergebnisse stimmen mit denen Schneiders überein. Sie untersuchen:

1. das Verhältnis zwischen Fallhöhe und Sprunghöhe,
2. das Verhältnis zwischen Fallhöhe und Inhalt des erzeugten Eindrucks,
3. den Vergleich der Brinellschen Härtezahl mit der Sprunghöhe, die sich aus einem unveränderlichen Eindruckinhalt ergibt,
4. den Vergleich der Brinellschen Härtezahl mit der Sprunghöhe, die sich aus einer unveränderlichen Fallhöhe ergibt.

Unter 3 erhalten die Verfasser die Beziehung

$$H = a\sqrt{S},$$

wo H die Brinellsche Härtezahl, a einen Festwert und S die Sprunghöhe in cm bedeuten. Z. B. wird $a = 57$ bei einer 10 mm-Kugel und einem Eindruck von 0,0083 cm³. Diese Beziehung gilt jedoch auch nicht für alle untersuchten Metalle genau.

Im vierten Fall ergibt sich für jede Fallhöhe (25 und 75 cm wurden untersucht) eine Beziehung $H = f(S)$, die die untersuchten Metalle ziemlich gut umfaßt. Hier müßten allerdings noch eingehendere Versuche gemacht werden, um Sicherheit zu gewinnen, dann wäre ein eindeutiger Schluß von der statischen auf die dynamische Kugelprobe und umgekehrt möglich. Schneider vergleicht (in der angeführten Arbeit) die beiden Prüfarten in der Weise, daß er die Formänderungsarbeiten zueinander in Beziehung setzt. Bei der Kugelfallprobe verwendet er sowohl die gesamte (Fallhöhe mal Gewicht der Kugel) als auch die bleibende Arbeit (Fallhöhe weniger Sprunghöhe mal Gewicht der Kugel). Für die Kugeldruckprobe bestimmt er die bleibende Formänderungsarbeit aus dem Eindruckdurchmesser und aus dem Potenzgesetz von Meyer. Er gelangte bei diesem Vergleich zu keinem verwertbaren Ergebnis, wie dies nun den beiden Engländern durch ihr eigentlich viel roheres Verfahren gelungen ist.

Die zweite Arbeit „Die Veränderlichkeit der Brinellschen Härtezahl mit der Versuchsbelastung" stammt von H. O'Neill. Er geht von der Beobachtung aus, daß sich die Brinellschen Härtezahlen mit der Belastung ändern und kommt dadurch wie Waizenegger[3]), dessen Arbeit er übrigens nicht kennt, zu dem Begriff der Größthärtezahl. Rechnungsmäßig kommt er auch zu dem Begriff der Letzthärtezahl (wenn die Kugel gerade zur Hälfte in den Stoff eingedrungen ist). Sein entschieden zu weit gehender Schluß, daß sich nämlich von da ab die Kugel unter gleichbleibender Belastung ständig weiter in den Stoff eindrücke, wird ihm von Edwards, dem Verfasser der ersten Arbeit, widerlegt. Er darf nicht vergessen, daß er sich hier, vielleicht von ganz weichen Stoffen abgesehen, auf einem Gebiet befindet, wo er das Meyersche Potenzgesetz nicht mehr durch Versuche erweisen kann. Waizenegger hat gezeigt, daß die Größthärtezahl unabhängig vom Kugel- und Eindruckdurchmesser und von der Belastung ist, ebenso wie auch die Letzthärtezahl. O'Neill zieht diesen Schluß, der große Bedeutung hat, nicht. Es ist so nämlich möglich, auf ganz einfache Weise aus zwei Kugeldruckproben bei verschiedener Belastung die Größthärtezahl zu bilden. Diese Möglichkeit muß bestehen, wenn sich die Zahl einbürgern soll.

Übrigens finden diese theoretisch-mathematischen Betrachtungen, die sich an die Brinellsche Härtezahl geknüpft haben, auch Widerspruch. So sagt z. B. in dem Meinungsaustausch zu O'Neills Aufsatz S. L. Hoyt, Brinells Härtezahl sei keine physikalische Größe, sondern eine praktische Zahl, und es sei zweifelhaft, ob Brinell diese seine Zahl der strengen Analysis unterworfen hätte, wie es zum erstenmal durch Meyer geschehen sei. Ich glaube, diese Ansicht von Hoyt ist unrichtig. Es werden doch auf allen Gebieten Versuchsergebnisse zusammengefaßt, und das geschieht nun einmal am schärfsten durch die Sprache der Mathematik; natürlich darf man dann nicht einem auf solche Weise gewonnenen mathematischen Ausdruck die Grenzen wegwischen, die ihm durch die Versuchsmöglichkeiten gezogen sind.

Man darf einen solchen Ausdruck auch nicht für ein Naturgesetz halten. Wenn man sich diese beiden Punkte vor Augen hält, wird man sehr wohl die Frage der Härteprüfung und Härtebeurteilung durch analytische Betrachtungsweise fördern können. P. Ludwik, Wien[4]),

[2]) Die Kugelfallprobe. Von J. J. Schneider Z. Bd. 53 (1910) S. 1631.
[3]) Ein Beitrag zur Härteprüfung. Von F. Waizenegger Z. Bd. 65 (1921) S. 824.
[4]) Beitrag zur Härteprüfung. Von Ludwik, Z. f. Metallkunde Bd. 15 (1922) S. 159.

ist der Ansicht, daß die Größthärtezahl die Härte nicht so gut kennzeichne, weil sie ja bei verschieden harten Stoffen bei verschieden tiefen Eindrücken erreicht werde und darum ungleichartige Fließzustände miteinander vergleiche. Dieser Einwand ist zweifellos vom physikalischen Standpunkt aus berechtigt. Der durch die Größthärtezahl gekennzeichnete Härtebegriff hat mehr rechnerische als physikalische Bedeutung. Daß jedoch das Meyersche Potenzgesetz eine vollständigere und eindeutige Vergleichung gestatte, wie Ludwik meint, ist nicht richtig. Denn hierbei ist man immer an gewisse Voraussetzungen, die übrigens auch durchaus nicht physikalischer Natur sind, gebunden. Vergleicht man bei gleichem Eindruckdurchmesser, also gleicher Kaltreckung, so wird die Härte proportional dem Beiwert a (jedoch auch nur bei gleichem Wert von n). Vergleicht man dagegen bei gleicher Belastung — und das geschieht jetzt noch meist in der Praxis —, so erhält man wieder andre Vergleichzahlen. Man kann bei einem Härtevergleich zweier Stoffe zu dem Ergebnis kommen, daß der eine Stoff nach der einen Art verglichen härter, nach der andern Art dagegen weicher ist als ein zweiter Stoff. Darum bin ich der Ansicht, daß die Größthärtezahl zahlenmäßig, nicht physikalisch, etwas Sicheres bietet, weil sie durchaus eindeutig ist. [M 307] Dr.-Ing. F. Waizenegger.

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Die Elektrostahlöfen, ihr Aufbau und gegenwärtiger Stand sowie Erfahrungen und Betriebsergebnisse der elektrischen Stahlerzeugung. Praktisches Hand- und Nachschlagebuch für den Stahlfachmann. Von E. Fr. Ruß. München 1923, R. Oldenbourg. 471 S. mit 439 Abb. und 65 Zahlentaf. Preis geb. 15,60 Gm.

Das Buch ist im allgemeinen Aufbau und in der Einzeldarstellung nicht einheitlich. Es soll nach Angabe des Verfassers ein praktisches Handbuch für den Stahlfachmann sein. Für diesen kommen als Teilgebiete die Verfahren zur Herstellung von Elektrostahl, die dafür benötigten Öfen und die Lieferung und Regelung des Stromes, also ein metallurgischer, ein maschinell-konstruktiver und ein elektrotechnischer Teil in Frage. Von diesen Sondergebieten ist für den Stahlfachmann das erste zweifellos das wichtigste, es kommt aber in dem in Rede stehenden Buch am dürftigsten weg. Der Ofenteil ist ausführlich bearbeitet, am besten ist der elektrotechnische Teil. Dieser ist aber für den Stahlwerker der am wenigsten wichtige, da besonders größere Werke über eigenes elektrotechnisches Fachpersonal verfügen.

Man merkt es dem Buch sehr an, daß es von einem Elektrotechniker geschrieben ist, der über das Schmelzen von Kupfer, Kupferlegierungen und sonstigen Schwermetallen Erfahrungen gesammelt hat, aber das Gebiet des Elektrostahls und der dazugehörigen Einrichtungen nicht in gleichem Maße übersieht. Der technisch-konstruktive Teil, der die verschiedenen Bauarten von Elektrostahlöfen behandelt, geht sehr in die Breite, läßt aber die Gleichmäßigkeit der Bearbeitung besonders stark vermissen. Was hat beispielsweise der elektrische Hochofen von Grönwall in dem Buch zu suchen, ganz abgesehen davon, daß die gebrachte schematische Abbildung dieses Ofens veraltet ist? Eine Reihe von beschriebenen Bauarten elektrischer Öfen kann man nicht als Elektrostahlöfen im industriellen Sinne bezeichnen (Hellberger, Kruppscher Kryptolofen, Hoskins usw.). Eine weitere Anzahl von Bauarten ist wohl für die oben erwähnten Schwermetalle in Gebrauch und aus einem früheren Buche des gleichen Verfassers übernommen, kommt aber für die Elektrostahlerzeugung kaum in Frage.

Auch unter den eigentlichen Elektrostahlöfen finden sich zum Teil Vorschläge über noch nicht erprobte Bauarten, während in der Industrie schon eingeführte Bauarten fortgelassen sind. Wir haben also nach der ersten Richtung unnötigen Ballast, nach der anderen Richtung unberechtigte Lücken. Die industriell verwendeten Bauarten von Elektrostahlöfen sind ungleichmäßig und nicht ihrer Wichtigkeit entsprechend bearbeitet (z. B. der Rennerfeldtofen auf 28, der Fiatofen — welcher heute auf der größten europäischen Anlage mit Lichtbogenöfen im Betrieb ist — auf 4 Seiten). Auf die Herstellung der amorphen Kohlenelektroden läßt sich der Verfasser mit unnötiger Breite ein, während über die Herstellung der graphitierten Elektroden nichts Wesentliches erwähnt ist und die Zustellungsmaterialien recht stiefmütterlich behandelt sind. Über die Söderberg-Elektrode, deren Benützung im Elektrostahlofen jetzt mehrfach erprobt wird, ist nichts gesagt. Eine den Stahlwerker wohl auch sehr interessierende ausführliche Produktionsstatistik, sowohl was Entwicklung als bisherigen Stand betrifft, fehlt.

Man kann sich des Eindruckes nicht erwehren, daß der Verfasser das ihm von den verschiedenen Verwertungsgesellschaften und ofenbauenden Firmen zur Verfügung gestellte Material nicht genügend gesichtet und bei der Bearbeitung gegenseitig abgewogen hat. Das Fehlen eines ausführlichen Sach- und Namenverzeichnisses erschwert die Benützung des Buches. Eine zweite Auflage des Buches müßte vom Verfasser einer gründlichen Durcharbeitung unterzogen werden.
[B 274] Prof. V. Engelhardt.

Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung. Von Dr.-Ing. Rudolf Schäfer. Berlin 1923, Julius Springer. 370 S. mit 205 Abb. und 1 Taf. Preis Gm. 15.

Der durch seine Bearbeitung von H. Brearleys „Werkzeugstähle" bekannte Verfasser hat versucht, zu diesem Werk einen ergänzenden Band zu schaffen, der die Konstruktionsstähle behandelt. Er hat sich dabei als Ziel gesetzt, besonders den Konstrukteur, dann weiterhin alle, die zwar selbst nicht Techniker sind, doch zur Technik in Beziehung stehen, über die Eigenschaften und die Behandlung des Eisens als Baustoff aufzuklären. Er weist mit Recht in der Einleitung darauf hin, daß gerade der Konstrukteur, wenn er seinen Aufgaben gerecht werden will, heute mehr denn je über die Eigenschaften und die Behandlung des von ihm verwendeten Materials unterrichtet sein muß.

Der Verfasser bespricht nach einer Einleitung über die Einteilung und Benennung der gewerblichen Eisensorten den Gefügeaufbau mit seinen Veränderungen bei der Wärmebehandlung sowie den Einfluß der Nebenbestandteile auf Eisen und Stahl, um sich dann besonders mit den Festigkeitseigenschaften zu befassen. Der zweite Teil ist der Metallbearbeitung, dem Schmieden, Kaltrecken, Schweißen und den verschiedenen Arten der Wärmebehandlung gewidmet; den Abschluß bildet eine kurze Behandlung der legierten Stähle. In einer ganzen Reihe der verschiedenen Abschnitte wird das Buch den gesteckten Zielen gerecht; so sind die Ausführungen über das Härten, Anlassen, Einsatzhärten, Kaltrecken recht gut. Dagegen muß festgestellt werden, daß man sich an vielen Stellen des Eindrucks nicht erwehren kann, daß die Niederschrift vor der Drucklegung besser noch einmal überarbeitet worden wäre. Es ist eine nicht unerhebliche Anzahl von Unstimmigkeiten stehen geblieben, die als einzelne vielleicht nicht gefährlich sind, von denen aber doch anderseits zu viele vorkommen, als daß man dies nicht hier erwähnen müßte. Ferner hat der Verfasser recht viel über Werkzeugstähle noch mit in das Buch hineingebracht, was nicht hinein gehörte und was den Konstrukteur oder einen den Materialfragen noch fernstehenden Leser verwirren könnte. Dies gilt besonders für die legierten Stähle. Ausführungen über manche wichtigen Konstruktionsstähle kommen dagegen häufig zu kurz, so die hochwertigen Chrom-Nickel-Baustähle und die Federstähle. Stellenweise finden sich auch recht mißverständliche oder sogar falsche Angaben, wobei allerdings manchmal Druckfehler vorliegen mögen, so z. B. wenn auf S. 86 ein Stahl mit etwa bis 2 vH Schwefel als im gewöhnlichen Sinne nicht schlecht bezeichnet wird (soll offenbar 0,2 vH heißen). Diese Fehler werden sich bei einer neuen Auflage ohne weiteres beheben lassen. Dabei müßte aber auch insbesondere das Kapitel über Festigkeitseigenschaften neu bearbeitet werden, in dem für den Konstrukteur doch recht wichtige Fragen teilweise nicht eingehend genug behandelt sind, so insbesondere die Dauerversuche. [B 414]
E. H. Schulz.

Die Stellung der Relativitätstheorie in der geistigen Entwicklung der Menschheit. Von Joseph Petzoldt. 2. Aufl. Leipzig 1923, Joh. Ambrosius Barth. VII und 96 S. Preis Gm. 2,70, geb. Gm. 4.

Die vorliegende Schrift ist nichts Geringeres als eine Geschichte der Philosophie vom Standpunkt der Relativitätstheorie. Der Verfasser begnügt sich nicht damit, von Einstein bis auf Mach zurückzugehen, sondern stellt in sehr reizvoller Weise dar, daß es wahrscheinlich schon für Protagoras weder absolute Ruhe noch absolute Bewegung gab, wie dann mehr als 2000 Jahre später Berkeley die rein mechanische Naturansicht und Hume den Kraftbegriff überwunden hat, und wie auf ihren Ideen weiterbauend Mach und Kirchhoff in all unserem Naturerkennen nichts anderes als „Koinzidenzen" sahen, das Zusammenfallen von Empfindungskomplexen, wie der Wahrnehmung eines Uhrzeigers und einer zugehörigen Zifferblattstelle. Wenn nun Einstein, um das Ergebnis der relativistischen Versuche von Fizeau und von Michelson zu vereinen, eine anscheinend paradoxe Annahme macht, so „beachte man nur, daß sie lediglich den experimentellen Befund ungeschminkt beschreibt. Wenn man hier einen Vorwurf erheben will, so kann man ihn nur gegen die Natur richten, nicht gegen die Theorie." Für Petzoldt ist eben Einsteins Lehre nicht etwas unwirklich Phantastisches, als was sie der Laie nur allzu leicht auffaßt, sondern etwas durch Sinnesphysiologie und rein beschreibende Annahmen Gegebenes.

Es ist hier natürlich nicht möglich, auf Einzelheiten des auch durch seine einfache und leicht verständliche Darstellung bemerkenswerten Büchleins einzugehen. Es sei nur noch erwähnt, daß es auch eine lesenswerte, von Petzoldt selbst stammende Anwendung von Leibnitz' Monadenlehre auf die Relativitätstheorie und Widerlegungen verschiedener gegen die erste Auflage erhobenen Einwände enthält.
[B 430] Max Jakob.

Illustrierte Technische Wörterbücher, Bd. XIV, **Faser-Rohstoffe,** herausgegeben von A. Schlomann. München 1923, R. Oldenbourg A.-G., 500 S., 434 Abb. Preis Gm. 20.

Die seither erschienenen dreizehn Bände der Illustrierten Technischen Wörterbücher haben durch diesen vierzehnten Band über die Faserrohstoffe eine bemerkenswerte Bereicherung und Ergänzung erfahren, die nicht nur von den Faserstoffachleuten, sondern auch von Nichtfachleuten, die sich mit diesen Gebieten irgendwie zu beschäftigen haben, voll anerkannt werden wird. Es ist natürlich, daß auf einem Gebiet, das seit den ältesten Zeiten in allen Ländern der Welt einen wichtigen Teil menschlicher Arbeit gebildet hat, für die Werkstoffe, Werkzeuge, Arbeitsmittel und Arbeitsgebriffe unendlich viele Wort- und Ausdrucksformen entstanden sind. Dem Fachmann mußte es deshalb fast unmöglich erscheinen, alle diese technischen Bezeichnungen lückenlos in vielen

Sprachen zu sammeln und so zu ordnen, daß ein übersichtliches Bild, eine logische, in sich zusammenhängende Darstellung aller Wortgebilde entstehen konnte.

Man kann sagen, daß dem Herausgeber diese mühevolle und verdienstliche Arbeit ausgezeichnet gelungen ist und mit dem Band „Faserrohstoffe" ein technisch-lexikales Werk von unschätzbarem Wert geschaffen wurde. Über den Umfang des Geschaffenen gibt Aufschluß, daß 6300 Wortstellen und etwa 10 000 Stichworte in Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch und Spanisch eingereiht wurden. Die kleinen, scharf ausgeführten bildlichen Darstellungen über Rohstoffe und Faserstrukturen, über Faserpflanzen und Fasern und Haare liefernde Tiere, Werkzeuge und Maschinen für Kultur und Aufschließung der Fasern usw. erhöhen den Wert des Werkes außerordentlich, denn der nach dem Wort und Ausdruck Suchende erhält, wenn er sich über Unbekanntes unterrichten will, durch die Abbildung eine über den Rahmen des einfachen Wortes wesentlich hinausgehende, viel eindringlichere Aufklärung. Zumal der in der Deutung der Zeichnung Bewanderte wird diese Bereicherung des Wortschatzes durch das zu ihm sprechende Bild sehr willkommen heißen. Und aus diesem Grunde wird das Werk auch dem Laien, dem für das Wort das Bild des Gegenstandes doch meist zu fehlen pflegt, treffliche Dienste leisten.

Das Werk ist in schwerer Zeit entstanden und zu Ende geführt worden und bildet im besonderen Maße ein rühmliches Zeugnis für den nicht rastenden Willen der deutschen technischen Welt und des Verlegertums, alle Hindernisse zu überwinden und gediegene Arbeit zu leisten. Es ist zu erwarten, daß dieser Band über die Faserrohstoffe den Illustrierten Technischen Wörterbüchern Schlomanns sehr viele neue Freunde erwerben wird. [B 208] Otto Johannsen.

Höchstdruckdampf. Eine Untersuchung über die wirtschaftlichen und technischen Aussichten der Erzeugung und Verwertung von Dampf sehr hoher Spannung in Großbetrieben. Von Friedrich Münzinger. Berlin 1924, Julius Springer. 140 S. Preis geh. Gm. 7,20, geb. Gm. 7,80.

Die Dampfkessel nebst ihren Zubehörteilen und Hilfseinrichtungen. Von R. Spalckhaver und Fr. Schneiders. 2. Aufl. Unter Mitarbeit von A. Rüster. Berlin 1924, Julius Springer. 481 S. mit 810 Abb. Preis Gm. 40,50.

Sammlung Göschen Bd. 880. **Maschinenmeßkunde.** Von L. Zipperer. Berlin und Leipzig 1924, Walter de Gruyter & Co. 116 S. Preis Gm. 1,25.

Sammlung Göschen Bd. 589 und 590. **Praktisches Maschinenzeichnen mit Einführung in die Maschinenlehre.** Von Richard Schiffner. Neu bearbeitet von W. Tochtermann. Band 1 und 2. Berlin und Leipzig 1924, Walter de Gruyter & Co. Bd. 1: 148 S. mit 68 Taf., Bd. 2: 141 S. mit 61 Taf. Preis je Gm. 1,25.

Arthur Wilke. Die Elektrizität. Ihre Erzeugung und Anwendung in Industrie und Gewerbe. Bearbeitet und herausgegeben von Otto Lich. 7. umgearbeitete Aufl. Berlin 1924, Neufeld & Henius. 805 S. mit 926 Abb. Preis Gm. 15.

Elektrotechnik. Von V. Vieweg. 2. Aufl. der Elektromechanik und Elektrotechnik von Dr. F. Grünbaum. Leipzig 1924, Thieme. 214 S. mit 175 Abb. Preis Gm. 6.

Bangerts Tabellen-Bücherei. Bd. III: **Maße der Elektrotechnik.** Für den praktischen Gebrauch zusammengestellt von Dr. K. Bangert. Hamburg 1924, Deutscher Auslandsverlag W. Bangert. 76 S. Preis Gm. 22,50.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

1 E-Großgüterzuglokomotiven der Österreichischen Bundesbahnen.

Herr Sektionschef J. Rihosek sieht sich veranlaßt, auf einen vermeintlichen Mangel bei Kolbenschiebern mit schmalen Ringen hinzuweisen. Er schreibt in Z. Bd. 68 (1924) S. 232 Sp. 1:

Schmale Kolbenschieberringe.

> Die österr. Bundesbahnen benutzten bisher für die Dichtung der Kolbenschieber die breiten Schmidtschen Schieberringe. Auf Grund der anderweitig mit schmalen Dichtungsringen gemachten günstigen Erfahrungen wurden die Lokomotiven Nr. 81. 02 bis 81. 55 mit schmalen Kolbenschieberringen ausgestattet, und zwar die Lokomotiven Nr. 81. 02 bis 81. 18 mit den Becherschen schmalen Ringen und steuernden Kanten im Kolbenschieberkörper; die Lokomotiven 81.19 bis 81.55 erhielten steuernde Enddichtungsringe der ⌉-Form nach Abb. 26. Nach den Erfahrungen ist es unvorteilhaft, die steuernden Kanten in den nicht dichtenden Kolbenschieberkörper zu verlegen, da hierdurch das Vorein- und das Vorausströmen verfrüht, die Füllung verlängert und die Verdichtung verkürzt wird.

Ich habe vor nunmehr elf Jahren in Z. Bd. 57 (1913) S. 187 Sp. 1 ausführlich dargelegt, daß es sich nur um eine auf dem Papier nachzuweisende belanglose Abweichung von einer bisher beachteten Regel handelt. Bedeutende Verwaltungen, die die Dampfverteilung mit dem Indikator kontrollieren, wendeten auf meine Darlegung hin diese Dichtungs- und Steuerungsart fast sofort ohne jede Rückfrage und Bedenken an und behielten sie bei. Es sind viele Tausende solcher Schieber im Betriebe; demgegenüber können die von Rihosek angeführten Erfahrungen an wenigen Lokomotiven nicht in Betracht kommen.

Um diesen angeblichen Mißstand zu beheben, schlägt Rihosek vor, statt des dünnen Ringes einen breiten Ring mit Winkelprofil zu verwenden. Dieser im Vergleich zum üblichen schmalen Ring wesentlich steifere Ring muß aber über den ganzen Kolbenkörper gestreift werden. Die Ergebnisse der Berechnungen von überstreifbaren Ringen von K. Reinhardt sind in dem bekannten Werk von H. Güldner, „Verbrennungsmotoren", zusammengestellt; ferner hat C. Volk auf S. 10 seines Buches „Kolben" einen Teil dieser Ergebnisse in anschaulicher, recht beachtenswerter Weise bildlich zusammengestellt. Dies und die Abhandlung von F. Lösel in der „Lokomotive" 1912 S. 151 u. f. dürften das Verständnis vom Wesen überstreifbarer Ringe von verhältnismäßig kleinem Durchmesser ganz wesentlich fördern. Die Beanspruchung beim Überstreifen berechnet sich nach Lösel etwas niedriger als nach Reinhardt. Nach Güldner ist auch die Tabelle am Ende meines Aufsatzes „Entlastung für Kolbenschieber" im „Bulletin des Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Verbandes" 1913 S. 597 u. f. berechnet, auf die zum Vergleiche verwiesen werde.

Nach Güldner, 2. Aufl. Tafel 41 auf S. 274, dürfte für den fraglichen Fall bei nur 250 mm Schieberdurchmesser der einfache überstreifbare Ring eine Stärke von nur

$$S = \frac{25}{2 \cdot 15} = 0{,}83 \text{ cm} = 8{,}3 \text{ mm}$$

erhalten, wenn sowohl beim Überspreizen des Ringes wie nach dem Einbau die Biegungsbeanspruchung nicht mehr als $k_b = 1470$ kg/cm² betragen soll. Läßt man die bereits wesentlich über der Elastizitätsgrenze liegende Beanspruchung von $k_b = 2360$ kg/cm² zu, so dürfte die Ringstärke trotzdem nur

$$S = \frac{25}{2 \cdot 12} = 1{,}04 \text{ cm} = 10{,}4 \text{ mm}$$

betragen. Rihoseks Vorschlag zeigt aber 12 mm Ringstärke; hierbei ist die kleine Anliegefläche dieses Winkelringes am Schieberkörper bereits sehr knapp gehalten. Der Ring dürfte beim Einbau deformiert werden, auch ungeachtet des ungünstigen großen Spieles von 2 mm zwischen Kolbenkörper und Büchse, das dem Überstreifen entgegenkommen soll.

Es möge auf die eindringlichen Warnungen von Lösel in dessen obiger Abhandlung hingewiesen werden: S. 151 Sp. 1 u., 152, 2 u., 153, 2 m., 154, 2 u., 155, 2 o., 157, 2 u. und 186, 1 m., nach denen die Ringstärke 1/30 des Durchmessers möglichst nicht überschreiten soll. Ein Satz S. 154, 2 u. lautet: „. . . das heißt, die Flächenpressung am Umfange des Ringes wächst mit der vierten Potenz der Ringdicke (des Verhältnisses der Ringdicke zum Ringdurchmesser)."

Lösel hat auf S. 187 als drittes Beispiel auch einen Winkelring, ähnlich wie von Rihosek vorgeschlagen, nachgerechnet. Hierbei hat Lösel leider übersehen, daß die inneren Ringe des Schiebers nicht nur über die äußeren, niederen Borde, sondern auch über den mittleren Bord von nahezu 340 mm Dmr. gestreift werden müssen. Dies ergibt natürlich wesentlich höhere Beanspruchungen — zum Teil über der Elastizitätsgrenze liegend — als die dort berechneten. Dieser amerikanische Schieber hat aber den wesentlich größeren Durchmesser von 340 mm gegenüber nur 250 mm im Falle von Rihosek (s. Lösel, S. 153).

Zusammenfassend kann von Herrn Rihoseks Vorschlag gesagt werden, daß er ein Rückschritt zum alten mangelhaften Schieber ist. Die wesentlichen Nachteile der Winkelringdichtung sind im vorliegenden Falle:

1. Deformieren der überzustreifenden Ringe; infolgedessen und ferner infolge der größeren Ringbreite schlechteres Dichten.
2. Größere Reibungsarbeit der starren und stärker pressenden Ringe; infolgedessen auch schnellere Abnützung bei den Schieberbüchsen. Der Verschleiß soll aber möglichst ganz bei den Ringen bleiben, die in einfacher, schmaler Ausführung sehr billig zu ersetzen und leicht ein- und auszubauen sind.

Schließlich ist es auch nicht angängig, bei nur 250 mm Dmr. Ringe von 16 mm Breite als schmale Ringe zu bezeichnen. Der Liederungsring des Normalschiebers hat nur 6 mm Breite.

Berlin. Friedrich Becher.

Auf die Einwendungen des Herrn Becher habe ich kurz folgendes zu erwidern:

Die von mir in meinem Aufsatz über schmale Kolbenschieberringe gemachten Mitteilungen stützen sich auf Erfahrungen im schweren Gebirgszugdienste bei kleinen Geschwindigkeiten von etwa 10 bis 20 km/h. Die nunmehr angewendeten äußeren steuernden Winkelring-Kolbenschieberringe haben sich bisher nicht schlechter verhalten als jene ganz schmalen von Becher.

Im übrigen sollten meine Mitteilungen die Verdienste des Herrn Becher hinsichtlich Verbesserung der Dichtheit von Kolbenschiebern durchaus nicht schmälern. [Z 372]

Wien. J. Říhosek.

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: C. MATSCHOSS ★

NR. 25 SONNABEND, 21. JUNI 1924 BD. 68

INHALT

Untersuchungen über den Einspritzvorgang bei Dieselmaschinen.

Von Dr.-Ing. W. Riehm, Oberingenieur der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, A.-G, Werk Augsburg.

Vortrag in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure zu Hannover 1924, Fachtagung der Dieselmaschinengruppe.

Einführung in die Grundlagen des Einspritzvorganges. Beschreibung der Versuchseinrichtungen. Die Versuche mit Wasser und Öl. Nähere Erörterung des Einspritzvorganges. Die Wärmeaufnahme bis zum Beginn der Zündung.

Der Arbeitsvorgang der Dieselmaschine war in den letzten Jahren der Gegenstand einer Reihe von eingehenden Untersuchungen, die unsre Kenntnisse über die einzelnen Größen, die auf seinen Verlauf maßgebenden Einfluß üben, sehr wesentlich gefördert haben. Ein wichtiger Teil des Arbeitsprozesses, der eines der Wesensmerkmale der Dieselmaschine bildet, hat sich jedoch bisher der genauen experimentellen Untersuchung entzogen und ist meist durch Annahmen der Rechnung zugänglich gemacht worden. Es ist dies der eigentliche Einspritzvorgang, der die Einführung des Brennstoffes, seine Zerstäubung und Verteilung auf die Verbrennungsluft bis zur Einleitung der Zündung umfaßt. Der Beherrschung und zweckmäßigen Führung des Einspritzvorganges kommt für den ganzen Verlauf des Arbeitspieles eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Die Praxis der Lufteinspritzmaschine hat daher eine große Zahl von Einspritzvorrichtungen gezeitigt, die der Lösung dieser Aufgabe unter den verschiedenen Betriebsbedingungen gerecht werden sollen. Es scheint verständlich, daß die mit der Lufteinspritzung verbundenen Vorgänge einer gründlichen experimentellen Erforschung besondere Schwierigkeiten bieten und daher noch keine Bearbeitung gefunden haben.

Die Vereinfachung, die das Dieselverfahren durch die Einführung der luftlosen Einspritzung erfahren hat, hat auch den Einspritzvorgang einfacher gestaltet und ihn der Untersuchung zugänglicher gemacht. Während bei Lufteinspritzung die Einblaseluft den Brennstoff gewissermaßen in einem geschlossenen Vorgang zerstäubt und verteilt, werden bei der luftlosen Einspritzung die beiden Aufgaben getrennt: Die Verteilung des Brennstoffes auf die Verbrennungsluft erfolgt unter Rücksichtnahme auf die Form des Verbrennungsraumes und etwa vorhandene Luftströmungen durch entsprechende Anordnung, Zahl und Größe der Düsenbohrungen. Der eigentliche Einspritzvorgang umfaßt dann nur noch das Heranbringen des aus den Bohrungen austretenden Brennstoffes an seine Verbrennungsluft und die zur raschen und vollkommenen Verbrennung notwendige Zerstäubung des Strahles durch das Hilfsmittel hohen Einspritzdruckes. Daß diese Aufgaben des Verteilens und Zerstäubens bei luftloser Einspritzung vollkommen gelöst werden können, zeigen am besten die günstigen Verbrauchziffern und hohen nutzbaren Kolbendrücke, die bei derartigen Maschinen nachgewiesen werden.

Zur Untersuchung der Frage, in welcher Weise das Eindringen des Brennstoffstrahles in die verdichtete Luft und seine Zerstäubung vor sich geht und welche Umstände dabei von Einfluß sind, habe ich Versuche ausgeführt, deren wichtigste Ergebnisse hier mitgeteilt werden. Infolge anderer Arbeiten konnten diese Versuche nur zu einem vorläufigen Abschluß gebracht werden und bedürfen noch der Erweiterung nach verschiedenen Richtungen hin.

Die Versuche haben die Messungen des dynamischen Druckes des Brennstoffstrahls zur Grundlage. Trifft ein Flüssigkeitsstrahl auf eine zu seiner Bewegungsrichtung senkrechte Platte, so ist der bei Ablenkung der Flüssigkeitsteilchen um 90° auf die Platte ausgeübte Stoßdruck, der sogenannte dynamische Druck, bekanntlich

$P = m v$ [kg],
m = Masse der sekundlich auftreffenden Flüssigkeit [$\mathrm{kg\,m^{-1}\,s}$],
v = Geschwindigkeit der auftreffenden Flüssigkeitsteilchen [$\mathrm{m\,s^{-1}}$].

Durch Messung des dynamischen Druckes und der ausfließenden Flüssigkeitsmenge kann nach dieser Beziehung die Geschwindigkeit des Strahles ermittelt werden.

Versuchseinrichtung.

Die zu den Versuchen benutzte Meßeinrichtung ist in Abb. 1 dargestellt. In einem Gehäuse *a* (von 180 mm Dmr.), das durch die Flanschen *b* und b_1 verschlossen wird, ist die Stoßwage derart eingebaut, daß keine bewegten Teile nach außen geführt sind. Die Stoßwage besteht aus der Platte *c*, die zusammen mit einem Ausgleichgewicht auf die Stange *d* aufgesteckt ist. Diese ist an zwei Stahlbändern *e* und e_1 leicht pendelnd aufgehängt und trägt am hinteren Ende einen Weicheisenkern *f*, der teilweise innerhalb der Magnetspule *h* liegt. Die Magnetspule ist auf das Messingrohr *g* aufgesteckt, das das Gehäuse nach hinten abschließt. Zwei am Rohr *g* angebrachte Fenster *i*, i_1 gestatten, die Lage der Stoßwage zu beobachten; die Nullage der Wage ist durch das Einspielen eines an *f* befestigten Drahtes mit zwei festen Drähten gekennzeichnet.

Die Flüssigkeit wird durch die Düse *l* eingespritzt, deren Abstand von der Stoßplatte durch verschieden lange Zwischenstücke *k* verändert werden kann. Die feste Platte *m* dient dazu, die Aufhängevorrichtung vor dem etwaigen Auftreffen von Flüssigkeitsteilchen zu schützen sowie das Eindringen von Flüssigkeit in das Rohr *g* und damit das Beschlagen der Glasscheiben der Fenster *i*, i_1 zu verhindern. Der Zapfen *n* an der Platte *m* dient dazu, die Eichvorrichtung *o* anzubringen; diese besteht aus einem Winkelhebel, dessen einer Arm auf die Stoßwage drückt,

während am andern Arm entsprechende Eichgewichte angehängt werden. Beim Eichen wird die Erregerstromstärke der Magnetspule zu jeder Belastung der Wage so bestimmt, daß diese in die Nullage einspielt.

Mittels des Anschlusses an der oberen Seite des Gehäuses kann die ganze Meßeinrichtung durch Einlassen von Preßluft unter Druck gesetzt werden, der an dem Manometer beobachtet wird. Der Anschluß an der unteren Seite des Gehäuses dient zum Ablassen der eingespritzten Flüssigkeit. Nachträglich wurde das Gehäuse noch mit einem Heizmantel für Versuche mit Luft von höherer Temperatur versehen.

Der aus der Düse austretende Brennstoffstrahl trifft auf die Stoßplatte und übt auf die Wage einen Druck aus, der diese aus der Gleichgewichtlage bringt. Die Erregerstromstärke der

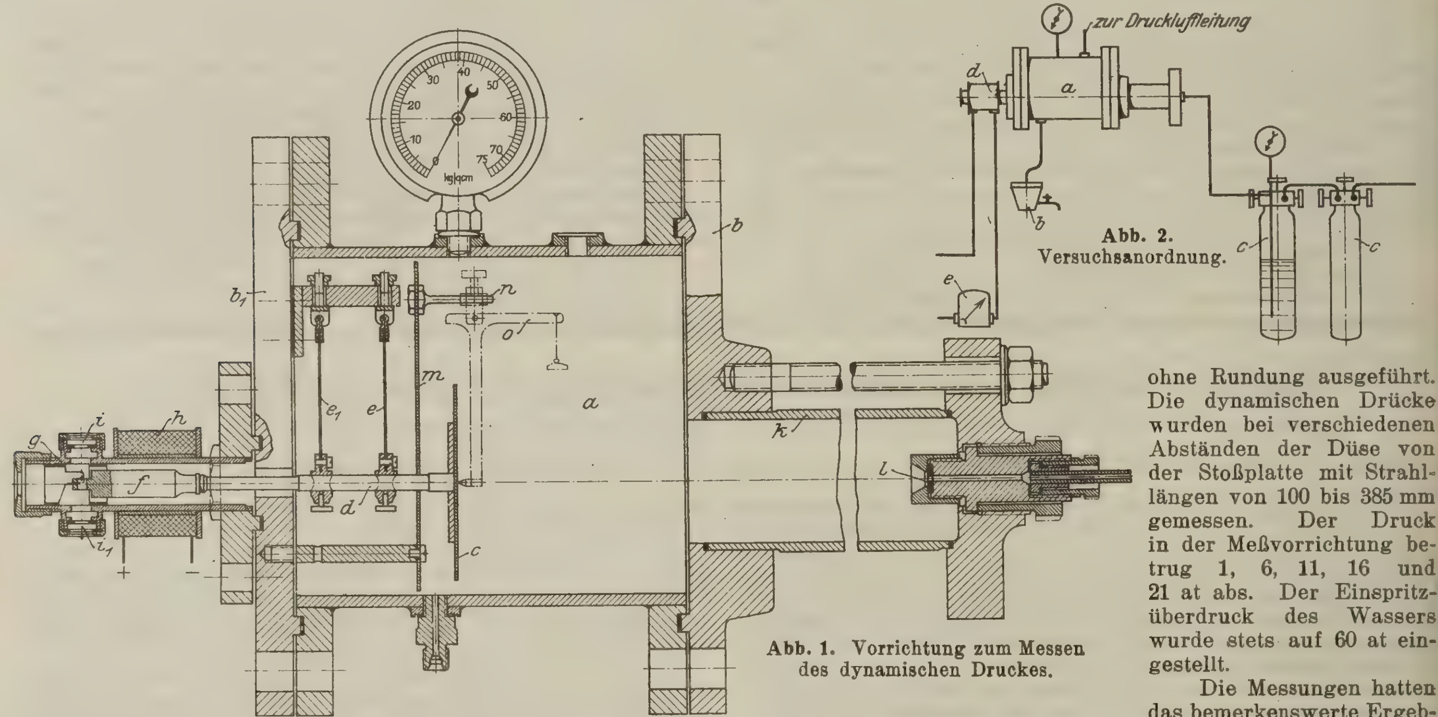


Abb. 1. Vorrichtung zum Messen des dynamischen Druckes.

Abb. 2. Versuchsanordnung.

Magnetspule wird nun so geregelt, daß die Wage wieder in ihre Nullage einspielt, wobei die am Strommesser *e*, Abb. 2, beobachtete Stromstärke ein Maß für den ausgeübten dynamischen Druck ist. Die einzuspritzende Flüssigkeit wird den Gefäßen *c* entnommen, die an die Preßluftanlage angeschlossen sind; man erhält so auf einfache Weise einen gleichbleibenden Einspritzdruck. Die eingespritzte Flüssigkeit wird in dem Gefäß *b* aufgefangen und gemessen.

Versuche mit Wasser und Gasöl.

Bei den ersten Versuchen wurde als Flüssigkeit Wasser verwendet. Es zeigte sich, daß bei den kleinen Bohrungen und hohen Einspritzdrücken mit gewöhnlichem lufthaltigen Wasser kein ruhig ausfließender Strahl erreicht werden kann. Vielmehr strömt das Wasser unter knatterndem Geräusch unregelmäßig und mehr stoßartig aus, was einen zerrissenen Strahl mit starkem

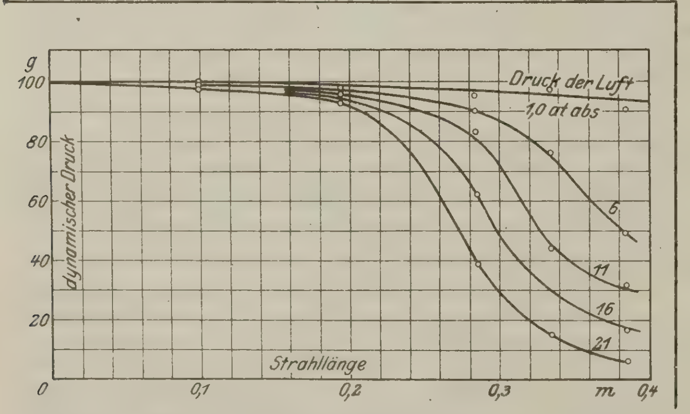


Abb. 3. Schaubild des dynamischen Druckes von Wasser in Abhängigkeit von der Strahllänge bei 0,4 mm Düsen-Dmr. und 1 mm Düsenlänge; Einspritzüberdruck 60 at.

seitlichen Abspritzen von Flüssigkeitsteilchen ergibt. Ursache dieser Erscheinung ist die Expansion der im Wasser enthaltenen Luft beim Austritt aus der Düse. Verwendet man dagegen abgekochtes luftfreies Wasser, so stellt sich ein an der Mündung glatter und ruhig ausfließender Strahl ein.

Durch einen Vorversuch wurde festgestellt, daß man, um den ganzen Strahl aufzunehmen, schon mit einer Platte von 80 mm Dmr. ausreicht. Für die Versuche wurde eine Platte von 110 mm Dmr. eingebaut. Die Verwendung von verschiedenen Plattengrößen bietet die Möglichkeit, die Art der Zerstäubung des Strahles noch eingehender zu untersuchen.

Die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit Wasser sind in Zahlentafel 1 und Abb. 3 wiedergegeben. Die Düse von 0,4 mm Dmr. bei 1 mm Länge war als Bohrung in glatter Wand ohne Rundung ausgeführt. Die dynamischen Drücke wurden bei verschiedenen Abständen der Düse von der Stoßplatte mit Strahllängen von 100 bis 385 mm gemessen. Der Druck in der Meßvorrichtung betrug 1, 6, 11, 16 und 21 at abs. Der Einspritzüberdruck des Wassers wurde stets auf 60 at eingestellt.

Die Messungen hatten das bemerkenswerte Ergebnis, daß der dynamische Druck und damit die Geschwindigkeit bis zu 200 mm Strahllänge unabhängig von dem Gegendruck der Luft fast gleich bleibt. Erst von 200 mm Strahllänge ab sinkt die Strahlenergie mit steigendem Gegendruck der Luft rasch. Bei 21 at Gegendruck vermindert sich die Strahlenergie fast plötzlich, woraus sich, wie aus den spätern Untersuchungen noch näher hervorgeht, fast auf eine explosionsartige Aufteilung des Flüssigkeitsstrahles schließen läßt. Der Strahl zerstäubt also nicht, wie vielfach angenommen wird, sofort bei seinem Austritt aus der Düse, sondern bleibt noch auf eine längere Strecke ziemlich geschlossen.

Bei den weiteren Versuchen mit Gasöl von 0,881 spezifischem Gewicht trat der Einfluß des Luftgehaltes nicht so in die Erscheinung wie bei Wasser, da Gasöl viel weniger lufthaltig ist. Im Verhalten von luftfrei gemachtem Gasöl wurde kein wesentlicher Unterschied festgestellt.

Ergebnisse einiger Versuchsreihen mit einer Düse von 0,305 mm Bohrung und 1 mm Länge sind in Zahlentafel 2 und Abb. 4 bis 6 enthalten. Der Einspritzüberdruck betrug 25, 60 und 116 at. Die plötzliche Abnahme der Geschwindigkeit bei höherem Gegendruck der Luft zeigt sich auch bei diesen Versuchen, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei Wasser. Vermutlich ist dies zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Bohrung

Zahlentafel 1. Einspritzversuche mit Wasser.

Flüssigkeit: Wasser (18 °C); Düse: Bohrung = 0,40 mm
Länge = 1,0 mm

Einspritzdruck der Flüssigkeit at abs	Druck der Luft im Messgefäß at abs	Einspritzüberdruck at	Strahllänge in mm 100	195	285	335	385
			dynamischer Druck in g				
61	1	60	100	98	95	97	90
66	6	„	100	97	90	75	49
71	11	„	98	96	83	44	31
76	16	„	—	95	62	—	17
81	21	„	97	93	39	15	6

Zahlentafel 2. Einspritzversuche mit Gasöl.
Flüssigkeit: Gasöl (18 °C); $\gamma_{fl} = 881$ Düse: Bohrung = 0,305 mm Länge = 1,0 mm

Einspritzdruck der Flüssigkeit at abs	Druck der Luft im Messgefäß at abs	Einspritzüberdruck at	Strahllänge in mm 100	195	285	335	Ausflußmenge g/s
			dynam. Druck in g				
26	1	25	26	25,5	24,5	—	3,6
36	11	„	26	23	19	—	„
46	21	„	24	21,5	14	—	„
61	1	60	63	61,5	51,5	57	5,5
71	11	„	61,5	50	35	22	„
81	21	„	59	45	17	0	„
117	1	116	117	116	112	111	7,2
122	6	„	116	106	85	—	„
127	11	„	110	91	62	39	„
132	16	„	107	86	38	—	„
137	21	„	103	81	23	—	„

nicht ganz einwandfrei war, wie nachträglich festgestellt wurde. Auch der Einfluß der Viskosität dürfte sich hierbei bemerkbar machen.

Der Vergleich der Kurven für 21 at abs zeigt weiterhin, daß bei etwa 300 mm Strahllänge der dynamische Druck bei beliebigem Einspritzüberdruck fast auf denselben kleinen Wert abgenommen hat. (In Abb. 6 sind die dynamischen Drücke für 25 und 60 at Einspritzdruck strichpunktiert eingetragen.) Das bedeutet, daß die Tiefe, bis zu welcher der Strahl in die verdichtete Luft eindringt, bei gleichen Düsen vom Einspritzdruck praktisch unabhängig ist. Die Wirkung höherer Einspritzdrücke kommt dagegen in der Art der Zerstäubung in der Weise zum Ausdruck, daß mit zunehmendem Einspritzdruck eine feinere Zerstäubung erzielt wird.

Die Messung der ausfließenden Flüssigkeitsmenge ergibt weiterhin die Ausflußziffer und die Geschwindigkeitsziffer der Düse. Die Ausflußziffer beträgt als Verhältnis zwischen der wirklichen Ausflußmenge und der theoretischen rd. 0,7, die Geschwindigkeitsziffer rd. 0,98, s. Zahlentafel 3. Eine Abhängigkeit dieser Beiwerte vom Einspritzdruck oder Luftdruck kann aus diesen Versuchen nicht abgeleitet werden, da sich die Messung der Flüssigkeitsmengen nur auf sehr kurze Zeiten beschränkte und für diesen Zweck nicht genau genug ist.

Zahlentafel 3.
Ausfluß- und Geschwindigkeitsziffern.

Einspritzüberdruck at	Ausflußmenge gemessen g/s	Ausflußmenge theoretisch g/s	Ausflußziffer	Ausflußgeschwindigkeit gemessen m/s	Ausflußgeschwindigkeit theoretisch m/s	Geschwindigkeitsziffer
25	3,6	4,8	0,75	72,2	74,5	0,97
60	5,5	7,45	0,735	113	115,5	0,98
116	7,2	10,35	0,695	160	160,8	0,99

Wie oben erwähnt, wird man die Versuche noch nach verschiedenen Richtungen erweitern müssen, um über das Verhalten des Brennstoffstrahles im Arbeitszylinder der Dieselmaschine ein vollständiges Bild zu gewinnen. Vor allem muß die Untersuchung auf höhere Einspritzdrücke, die man in der Praxis verwendet, ausgedehnt werden. Auch der Einfluß der Lufttemperatur wäre noch zu prüfen. Daneben dürften sich noch andre Fragen, wie der Einfluß der Größe und Länge der Düsenbohrung, der Einfluß der Viskosität usw., mit der geschilderten Versuchseinrichtung einfach klären lassen.

Der Einspritzvorgang.

Anschließend an diese Versuchsergebnisse seien einige weitere Betrachtungen über den Einspritzvorgang angestellt, die trotz vereinfachender Annahmen einen guten Einblick ergeben dürften. Zunächst sei angenommen, der Flüssigkeitsstrahl bestehe stets aus einzelnen kugeligen Teilchen von gleichem Durchmesser. Beim Eindringen des Strahls in die verdichtete Luft wird die lebendige Kraft der Teilchen durch den Luftwiderstand aufgezehrt. Bezeichnet W den Luftwiderstand in kg und s den Weg der Flüssigkeitsteilchen in m, so gilt für jedes Teilchen:

$$W\,d s = -m v\,d v \quad (1).$$

Allerdings sind die Gesetze des Luftwiderstandes für so kleine Teilchen und den großen Geschwindigkeitsbereich, der hier in Frage kommt, nicht näher bekannt. Näherungsweise soll deshalb das quadratische Widerstandsgesetz der weiteren Rechnung zugrunde gelegt werden. Sind

ψ = Widerstandzahl = 0,02 (angenommen),
ϱ = Masse von 1 m³ Luft [kg m⁻¹ s²],
F = Projektion des Körpers in der Bewegungsrichtung [m²],
v = Geschwindigkeit [m s⁻¹],
γ_{fl} = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit [kg m⁻³],
r = Kugelhalbmesser der Flüssigkeitsteilchen [m],

so ist

$$W = \psi\,\varrho\,F\,v^2 \text{ [kg]} \quad (2)$$

und

$$\psi\,\varrho\,\pi\,r^2\,v^2\,d s = -\frac{4}{3}\pi\,r^3\frac{\gamma_{fl}}{g}v\,d v \quad (3)$$

oder

$$\frac{d v}{v} = -\frac{C}{r}d s \quad (3a)$$

wobei

$$C = \frac{3\,\psi\,\varrho\,g}{4\,\gamma_{fl}}.$$

Die Widerstandzahl ψ ist mangels passender Versuchswerte, entsprechend den Ergebnissen von Luftschiffmodellen, mit 0,02 angenommen.

Damit ist eine Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und dem Weg der Flüssigkeitsteilchen gewonnen. Kennt man die Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Strahles vom Weg, die man aus dem Verlauf der dynamischen Drücke einfach durch Änderung des Maßstabes ableiten kann, so liefert die obige Beziehung für jeden Punkt dieser Kurven den Kugelhalbmesser der Teilchen

$$r = -\frac{C \cdot v}{\frac{d v}{d s}} \quad (3b)$$

wobei v und $\frac{d v}{d s}$ aus der Geschwindigkeit-Weg-Kurve zu entnehmen sind.

In Abb. 7 und 8 sind die v-s-Kurven des Strahles für einen Einspritzüberdruck von 116 at bei 11 und 21 at abs Gegendruck eingezeichnet. Auf Grund von Gl. (3 b) sind ferner Kugeldurchmesser ermittelt und die entsprechenden Kreise über den ent-

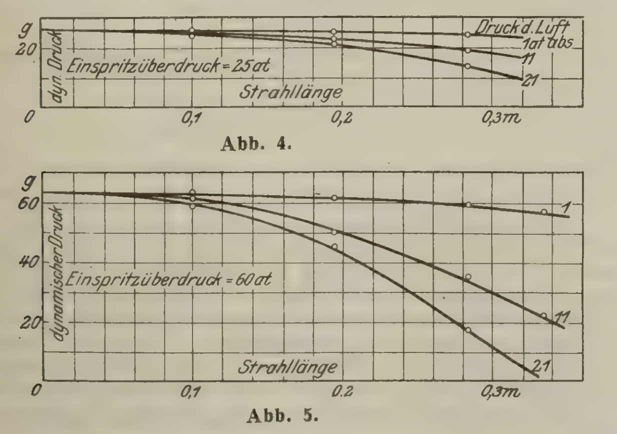


Abb. 4.

Abb. 5.

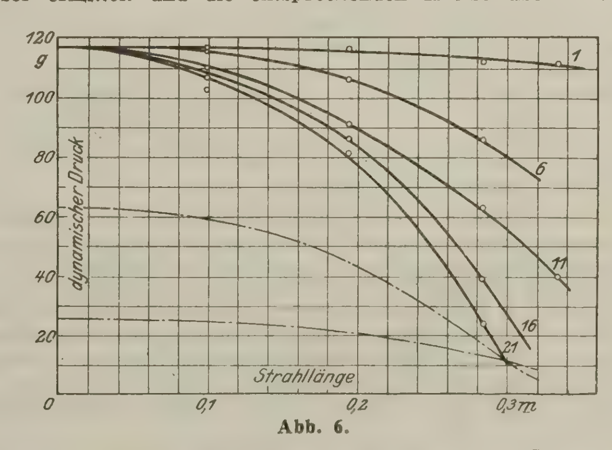


Abb. 6.

Abb. 4 bis 6. Schaubilder des dynamischen Druckes von Gasöl in Abhängigkeit von der Strahllänge bei 0,305 mm Düsen-Dmr. und 1 mm Düsenlänge.

sprechenden Punkten der Kurve verhältnisgleich eingetragen. Man erhält so ein anschauliches Bild, wie die Aufteilung des Strahles vor sich geht. Noch klarer wird dieses Bild, wenn man die Zahl der Flüssigkeitsteilchen oder das Verhältnis ihrer Oberflächen ermittelt, Zahlentafel 4, wobei die Oberfläche zu Beginn des Einspritzens, wenn der Strahl noch aus Kugeln vom Durchmesser der Düsenbohrung besteht, 1 gesetzt ist. Die Kugelzahlen und Oberflächen sind in Abb. 7 und 8 eingetragen. Das zeigt deutlich, wie der Strahl den größten Teil seines Weges ziemlich geschlossen zurücklegt und eine geringe Oberfläche hat, die natürlich auch eine größere Wärmeaufnahme unmöglich macht. Die

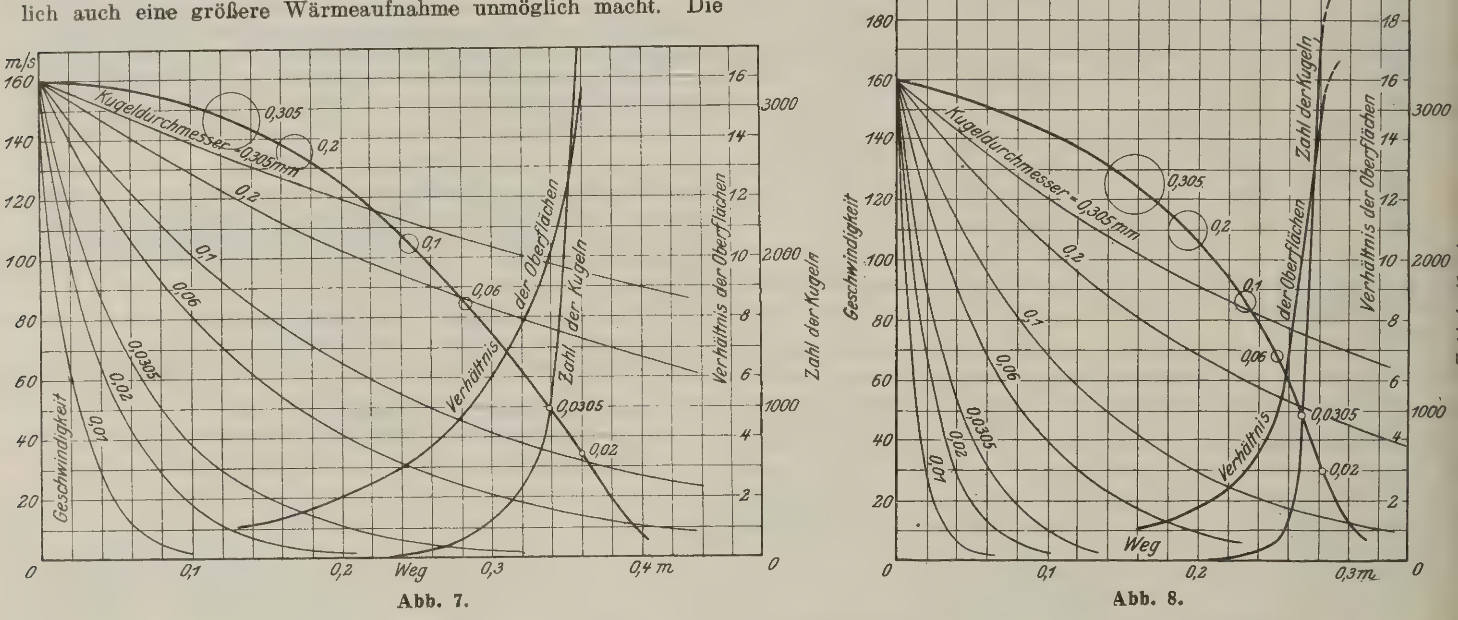


Abb. 7. Abb. 8.

Abb. 7 und 8. v-s-Schaulinien des Strahles für 116 at Einspritzüberdruck bei 11 und 21 at abs Gegendruck.

eigentliche Zerstäubung erfolgt dann sehr rasch auf einem kurzen Weg, wobei auch die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsteilchen schnell abnimmt. Die Durchmesser der Flüssigkeitsteilchen betragen hiernach am Ende des Zerstäubungsvorganges rd. $20 \cdot 10^{-3}$ mm, was etwa mit den Messungen der Korngrößen von Kohlenstaub übereinstimmt. Selbstverständlich ist diese Zahl nur ein Mittelwert; daneben können auch wesentlich kleinere Kugeln vertreten sein, die jedoch hinsichtlich ihres Gewichtanteiles zurücktreten.

Zahlentafel 4. Anzahl und Oberflächenverhältnis der Flüssigkeitskugeln.

Kugeldurchmesser $m \cdot 10^{-3}$	Anzahl der Kugeln	Verhältnis der Oberflächen
0,305	1	1
0,2	3,6	1,53
0,1	28,5	3,05
0,06	132	5,1
0,0305	1 000	10
0,02	3 580	15,3
0,01	28 500	30,5

Der Vergleich der entsprechenden Kurve in Abb. 7 und 8 zeigt, wie wesentlich langsamer bei geringerem Gegendruck der Luft (11 at abs) der Strahl aufgeteilt wird. Bei noch geringerem Gegendruck würde sich das Kennzeichnende dieses Bildes noch mehr verlieren. Daraus folgt auch, daß die Beobachtung von Flüssigkeitsstrahlen beim Austritt in die freie Luft keinen Schluß auf das Verhalten des Strahles in der Maschine zuläßt, sondern nur zum Vergleich dienen kann.

Abb. 7 und 8 enthält noch die v-s-Kurven für Flüssigkeitsteilchen von verschiedenem Durchmesser, die mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 160 m/s in die Luft eindringen. Sie geben also gewissermaßen den Verlauf eines Strahles an, der von allem Anfang an in Teilchen aufgespalten wäre. Diese Kurven haben bei den Geschwindigkeiten, wo die entsprechenden Kugeldurchmesser auf der Strahlkurve eingetragen sind, parallele Tangenten mit der Kurve des wirklichen Strahles. Die Gleichung der Kurven ergibt sich durch Integration der Differentialgleichung (3a)

$$\ln v = -\frac{C}{r}\, s + \ln v_0 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

mit der Grenzbedingung $v = v_0$ für $s = 0$.

Die Wärmeaufnahme bis zum Beginn der Zündung.

Dieser Vorgang kommt dem von Prof. Nusselt untersuchten Verbrennungsvorgang in der Kohlenstaubfeuerung[1]) sehr nahe. Die in den Zylinder eingespritzten Flüssigkeitsteilchen nehmen aus der verdichteten heißen Arbeitsluft Wärme durch Leitung auf. Die Wärmeaufnahme durch Strahlung kann vernachlässigt werden, da die Gastemperaturen vor Beginn der Verbrennung sowie die Wandtemperaturen verhältnismäßig niedrig sind. Die durch Leitung aufgenommene Wärme beträgt

$$4\pi\lambda r (t_c - t) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5),$$

worin

λ = Wärmeleitzahl der Luft [$\mathrm{kcal\,m^{-1}\,h^{-1}\,{}^0C^{-1}}$],
r = Kugelhalbmesser der Flüssigkeitteilchen [m],
t_c = Verdichtungstemperatur der Arbeitsluft [^{0}C],
t = Temperatur des Flüssigkeitsteilchens [^{0}C];

ferner sei

t_a = Anfangstemperatur des Flüssigkeitsteilchens [^{0}C],
t_z = Selbstentzündungstemperatur der Flüssigkeit [^{0}C],
c = spezifische Wärme der Flüssigkeit [$\mathrm{kcal\,kg^{-1}\,{}^0C^{-1}}$],
γ_{fl} = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit [$\mathrm{kg\,m^{-3}}$],
z = Zeit, die seit Austritt des Strahles aus der Mündung verstrichen ist [h].

Die aufgenommene Wärme erhöht die Temperatur der Flüssigkeitsteilchen, so daß

$$4\pi\lambda r (t_c - t) = \frac{4}{3}\pi r^3 c \gamma_{fl} \frac{dt}{dz} \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

oder

$$\frac{r^2 c \gamma_{fl}}{3\lambda} \frac{dt}{t_c - t} = dz \quad \ldots \ldots \ldots \quad (5a).$$

Die Integration dieser Gleichung liefert mit der Grenzbedingung $t = t_a$ für $z = 0$

$$z = -\frac{r^2 c \gamma_{fl}}{3\lambda} \ln \frac{t_c - t}{t_c - t_a} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6).$$

Hieraus kann man die Zeit z, die zur Erreichung einer Temperatur t des Flüssigkeitsteilchens notwendig ist, berechnen.

Nach den Versuchen über den Zündvorgang, die Dr. Alt auf der vorjährigen Dieseltagung mitgeteilt hat, darf angenommen werden, daß der Entzündung des Brennstoffes keine Vergasung oder nennenswerte Verdampfung vorhergeht, sondern daß die Flüssigkeitsteilchen zu brennen beginnen, sobald sie ihre Selbstentzündungstemperatur erreicht haben. Die den Flüssigkeitsteilchen zuzuführende Wärme ist also im wesentlichen die Flüssigkeitswärme, so daß aus obiger Gleichung durch Einsetzen der Selbstentzündungstemperatur die Zündzeit selbst errechnet werden kann.

[1]) Z. Bd. 68 (1924) S. 124.

Den folgenden Zahlentafeln sind als Konstanten zugrunde gelegt:

spezifische Wärme der Flüssigkeit $c = 0{,}45$ [kcal kg^{-1} °C^{-1}],
spezifisches Gewicht der Flüssigkeit $\gamma_{fl} = 881$ [kg m^{-3}],
Wärmeleitzahl der Luft = 0,0405, 0,0425, 0,448 [kcal m^{-1} h^{-1} °C^{-1}],
für die Verdichtungstemperatur $t_c = 500$, 550, 600 [°C].

Der große Einfluß, der der Zerstäubung für die Einleitung der Zündung zukommt, ist daraus ersichtlich, daß die Zündzeit proportional mit dem Quadrat des Kugelmessers abnimmt. In Zahlentafel 5 ist die Zündzeit für verschiedene Kugeldurchmesser für 500 °C Verdichtungstemperatur und $t_z = 350$ ° Selbstentzündungstemperatur eingetragen.

Zahlentafel 6 zeigt den Einfluß der Verdichtungstemperatur auf die Zündzeit für einen Kugelhalbmesser $r = 0{,}01 \times 10^{-3}$ m und $t_z = 350$ °C. Die Verkürzung der Zündzeit, die man durch Erhöhen der Verdichtung erzielen kann, ist sehr gering, da sich bei Steigen der Verdichtungstemperatur von 550 auf 600 °C der Verdichtungsdruck von 17 auf 27 at erhöht.

Der Einfuß des Zündpunktes der Flüssigkeit auf die Zündzeit geht aus Zahlentafel 7 hervor, die für $r = 0{,}01 \times 10^{-3}$ und $t_c = 550$ °C berechnet ist.

Endlich ist in Zahlentafel 8 der Einfluß der Vorwärmung des Brennstoffes auf die Zündzeit angegeben. Bei niedrigem Zündpunkt des Brennstoffes ist hiernach die Verkürzung der Zündzeit immerhin noch bemerkbar, während sie bei höheren Zündpunkten nicht mehr wesentlich ist. Dies stimmt wohl auch mit den Erfahrungen der Praxis überein, wonach man durch Vorwärmen des Brennstoffes den Zündvorgang nicht wesentlich verbessern konnte, falls nicht andre Gründe, wie Verminderung der Viskosität usw., dafür sprachen.

Abb. 9. Weg-Zeit-Schaubild für 160 m/s Anfangsgeschwindigkeit beim Eintritt in Luft von 21 at abs und 15 °C.

Um die Betrachtungen über die Zündzeit auf die Verhältnisse in der Maschine zu übertragen, sind zunächst in Abb. 9 die Weg-Zeit-Kurven der Flüssigkeitsteilchen von verschiedenem Durchmesser eingetragen, wobei als Anfangsgeschwindigkeit 160 m/s beim Eintritt in Luft von 21 at abs und 15 °C zugrunde gelegt sind. Das entspricht allerdings nicht den Verhältnissen im Arbeitszylinder; dort ist vor allem die Temperatur der Luft wesentlich höher, anderseits sind aber auch der Einspritzdruck und damit die Anfangsgeschwindigkeit der Teilchen größer. In der Größenordnung dürften daher beide Zustände vergleichbar sein.

Zahlentafel 5. Zündzeit bei verschiedenen Kugeldurchmessern.

Kugeldurchmesser m · 10^{-3}	0,305	0,20	0,10	0,06	0,0305	0,02	0,01
Zündzeit . . . . . s · 10^{-4}	2580	1100	275	99	25,8	11	2,75

Zahlentafel 6. Zündzeit bei verschiedenen Verdichtungstemperaturen.

Verdichtungstemperatur °C	500	550	600
Zündzeit . . . . . s · 10^{-4}	13,6	11	9

Zahlentafel 7. Zündzeit bei verschiedenen Zündpunkten des Brennstoffes.

Zündpunkt . . °C	300	350	400	500
Zündzeit s · 10^{-4}	10,2	11	14,1	26,2

Zahlentafel 8. Zündzeit bei Vorwärmung des Brennstoffes.

Anfangstemperatur des Brennstoffes	20	100	200
Zündzeit für $t_z = 350$ . . . s · 10^{-4}	11	9	6,3
Zündzeit $t_z = 500$ . . . . . „	26,5	24,5	21,7

Die Weg-Zeit-Kurve der Flüssigkeitsteilchen ergibt sich aus Gl. (4), die auch geschrieben werden kann

$$v = e^{-\frac{C}{r}s + \ln v_0} = \frac{ds}{dz} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4a).$$

Durch Integration mit der Grenzbedingung

$$s = 0 \text{ für } z = 0$$

ergibt sich

$$z = \frac{r}{C}\left(e^{\frac{C}{r}s - \ln v_0} - \frac{1}{v_0}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7).$$

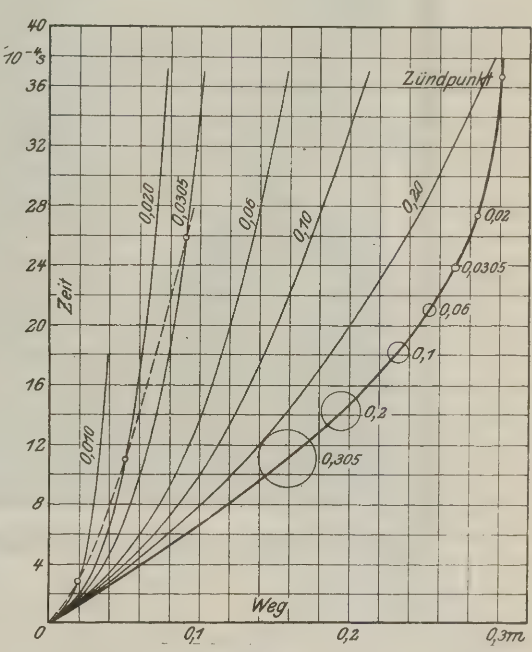


Abb. 10. Weg-Zeit-Schaubild des wirklichen Brennstoffstrahles für 160 m/s Anfangsgeschwindigkeit beim Eintritt in Luft von 21 at abs. und 15 °C.

Die Kurve der Zündpunkte in Abb. 9 gibt den Einfluß der Zerstäubung deutlich wieder.

In Abb. 10 ist außer diesen Kurven auch die Weg-Zeit-Kurve des wirklichen Brennstoffstrahles eingetragen. Die wirksame Wärmeaufnahme der Flüssigkeit beginn hiernach erst bei Aufteilung in Kugeln von etwa 0,03 mm. Die Wärmeaufnahme bei größerem Kugeldurchmesser ist so außerordentlich gering, daß sie im ganzen Zündvorgang keine wesentliche Rolle spielen kann. Erst bei den kleinen Durchmessern beginnt die eigentliche Erwärmung des Brennstoffes, die dann in kurzer Zeit die Zündung einleitet. Im vorliegenden Falle würde die Zündung des Strahles etwa $36 \cdot 10^{-4}$ s nach dem Einspritzen beginnen.

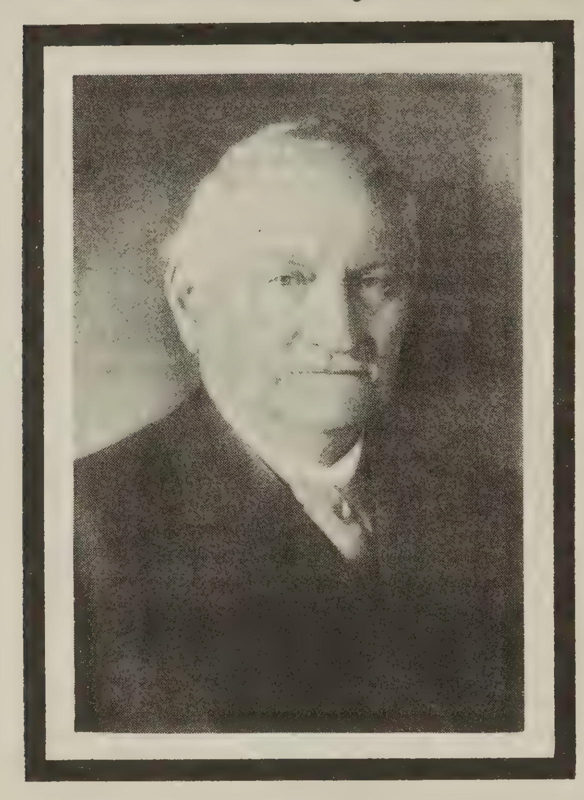
Bisher war angenommen, der Strahl bestehe nur aus Flüssigkeitsteilchen von gleichem Durchmesser, in Wirklichkeit bilden sich, wie die Untersuchung zeigt, außer dem Strahl viel kleinere Flüssigkeitsteilchen, welche die Zündung früher einleiten. Beachtet man jedoch, daß das Gewicht solcher von einem sonst einwandfreien Strahl abgesplitterter Teilchen außerordentlich gering ist und demgemäß auch die Temperatur durch ihre Vorverbrennung nur unwesentlich gesteigert werden kann, so darf man wohl annehmen, daß das hier entwickelte Bild des Einspritzvorganges bis zur Zündung seinem Wesen nach nicht allzuweit von der Wirklichkeit abweicht.

Endlich entsteht noch die Frage, ob man den stationären Einspritzvorgang, der in der beschriebenen Vorrichtung zur Messung des dynamischen Strahldruckes stattfindet, zum Vergleich mit dem Vorgang in der Maschine, wo nur stoßweise eingespritzt wird, heranziehen kann. Die Zeit für das Einspritzen des Brennstoffes an der Maschine ist, wenn die Einspritzdauer 30° Kurbelwinkel entspricht und die Drehzahl der Maschine 300 Uml./min beträgt,

$$z_e = \frac{60 \cdot 30}{300 \cdot 360} = \frac{1}{60} = 160 \cdot 10^{-4} \text{ s}.$$

Da die Zeit vom Beginn des Einspritzens bis zur Einleitung der Zündung nach obigem rd. $36 \cdot 10^{-4}$ s beträgt, so ist die Einspritzdauer das rd. 5fache der Zündzeit; der größte Teil des Einspritzvorganges darf somit als stationärer Zustand angesehen werden. [A 418]

Hermann Majert †.



Am 25. Februar d. J. ist in Piesteritz, Bezirk Halle, der ehemalige Leiter der Siegener Maschinenbau-A.-G., vorm. A. & H. Oechelhäuser, Direktor Dr.-Ing. eh. Hermann Majert gestorben.

Majert wurde am 14. August 1840 in Duisburg geboren und stammte aus einem alten niederrheinischen Kaufmannsgeschlecht. Nach dem Besuch des Gymnasiums in Duisburg und der Gewerbeschule in Hagen bezog er im Herbst 1861 die Gewerbeakademie in Berlin. Nach Beendigung seiner Studien trat er im Jahre 1864 als Konstrukteur und Betriebsassistent in die Dienste der Georgs-Marienhütte in Osnabrück. Mit 29 Jahren übernahm er die Leitung der Sundwiger Eisenhütte und wurde im Frühjahr 1877 Direktor des Eisenwerks Thale. Von 1880 bis 1882 leitete er die Maschinenfabrik Englerth & Küntzer in Eschweiler. Im Jahre 1882 wurde er als Nachfolger von Theodor Peters, der die Leitung des Vereines deutscher Ingenieure übernahm, Mitglied der Direktion der Siegener Maschinenbau-A.-G., vorm. A. & H. Oechelhäuser in Siegen.

Durch seine Tätigkeit in dieser Fabrik, deren bereits begründeten Ruf er weit über ihren bisherigen Wirkungskreis hinauszutragen verstanden hat, ist Majert als ein auf seinem Fachgebiet hochgeschätzter Ingenieur und Konstrukteur bekannt geworden. Er hat grundlegende Verbesserungen der Walzwerks- und Fördermaschinen geschaffen und mit dazu beigetragen, daß der von Riedler angeregte Gedanke des Schnellpumpenbaues in die Praxis umgesetzt worden ist. So war er es, der die unterirdischen Wasserhaltungsmaschinen, die damals noch als Balanziermaschinen Cornwallscher und Kleyscher Bauart mit nur wenigen Umdrehungen gebaut wurden, in schneller laufende, nur einen Teil des alten Gewichts beanspruchende Pumpen mit Kurbeltrieb verbesserte.

Mit besonderm Eifer widmete er sich der streng wissenschaftlichen Durchbildung der Hochofen- und Stahlwerksgebläsemaschinen mit Dampfantrieb, wie überhaupt die Verbesserung der Dampfwirtschaft Majert ein außerordentlich fruchtbares Feld der Betätigung gab. Die in den achtziger Jahren einsetzende schnelle Entwicklung der Hüttenwerke, die in dem Bau größerer Hochöfen zum Ausdruck kam, stellte auch höhere Ansprüche an die Leistung der Gebläsemaschinen, die von Jahr zu Jahr noch wuchsen. Alsdann verlangte die bessere Ausnutzung des Materials größere Drehzahlen der Maschinen. Hierzu kam die Einführung verbesserter Steuerungen, die bereits durch die wachsenden Dampfdrücke bedingt waren. Während in den Jahren vor Majerts Eintritt in die Firma Oechelhäuser fast ausschließlich Schiebersteuerungen für Einzylinder- oder Zwillingsmaschinen ausgeführt wurden, setzte er die Einführung der Präzisionsventilsteuerungen für Verbundmaschinen sowie auch der Corlißsteuerung für Niederdruckzylinder durch.

Die Entwicklung des Gebläsemaschinenbaues in den letzten zwanzig Jahren des vorigen Jahrhunderts ist dadurch gekennzeichnet, daß zu Anfang der achtziger Jahre die Gebläsemaschine mit 0,3 bis 0,5 at Winddruck bei 300 bis 400 m^3/min angesaugter Luftmenge arbeiteten, während zur Einführung der Großgasmaschine um die Jahrhundertwende der Winddruck auf 0,7 bis 1,0 at bei 1000 bis 1200 m^3/min angesaugter Windmenge gestiegen war. Dieser schnelle Ausbau der Gebläsemaschinen war in erster Linie Majerts Verdienst, dessen eifrigen Bemühungen es gelang, daß die Firma A. & H. Oechelhäuser führend auf dem Gebiete des Gebläsemaschinenbaues wurde. Bei der um die Jahrhundertwende einsetzenden Entwicklung der Großgasmaschine erkannte Majert sofort ihre außerordentliche Bedeutung als Antriebmaschine für die Hochofengebläse. Er erwarb die Patente von Körting und von Oechelhäuser, wobei er sich jedoch auf Grund eingehender Erwägungen für die doppeltwirkende Zweitaktmaschine Bauart Körting entschied.

Wie alle, die den Bau von Großgasmaschinen aufgenommen hatten, mußte auch Majert zunächst außerordentliche Schwierigkeiten überwinden, ehe es gelang, eine allen Ansprüchen genügende Maschine auf den Markt zu bringen. Der Wunsch der Hüttenwerke, Großgasmaschinen zu erhalten, war in den ersten Jahren so drängend, daß es der Firma mit den ihr zur Verfügung stehenden Einrichtungen trotz Tag- und Nachtschicht schwer möglich wurde, allen Wünschen gerecht zu werden. Die stürmische Entwicklung mag also dahin gewirkt haben, daß die technische Vervollkommnung mehr Zeit in Anspruch nahm, als dies bei einer langsameren Entwicklung der Fall gewesen wäre. Die von Majert im Zweitakt erkannten Vorzüge werden heute noch geltend gemacht, die Zeit hat ihm also recht gegeben. Die Zweitaktmaschine hat insbesondere für den Antrieb von Gebläsemaschinen solche Vorteile, daß sie sich nicht nur gegenüber der Viertaktmaschine hat behaupten können, sondern eher wieder an Boden gewinnt. Im übrigen sind im Wirtschaftsleben für die Wahl eines Maschinensystems nicht immer nur technische Gesichtspunkte ausschlaggebend, die weitgehende Konzernbildung der letzten beiden Jahrzehnte beeinflußte in vielen Fällen auch die Wahl des Systems dieser Maschinengattung.

Die geistige Regsamkeit, sein erstaunlich reiches und vielseitiges Wissen und seine sonstigen persönlichen Eigenschaften boten den Anlaß, den Verstorbenen außerhalb seines engeren Fachgebietes zu den mannigfaltigsten Aufgaben heranzuziehen. So war Majert Mitglied in dem Vorstande des Großgasmaschinen-Verbandes und des Vereins deutscher Maschinenbauanstalten. Seit 1869 gehörte er dem Verein deutscher Ingenieure an. Er wurde 1884 zum Schriftführer des Siegener Bezirksvereins und 1885 zu seinem Vorsitzenden gewählt, welches Amt er bis 1889 inne hatte. Von 1890 bis 1900 war er mit zwei Jahren Unterbrechung stellvertretender Vorsitzender. Im Jahre 1916 brachte der Siegener Bezirksverein die Anerkennung Majerts Verdienste als Ingenieur dadurch zum Ausdruck, daß er ihn zu seinem Ehrenmitglied ernannte.

Das Vertrauen der Fachwelt berief ihn weiter in den Vorstand des Deutschen Museums in München. Als einen Ausdruck der Wertschätzung seiner Tätigkeit und seines Wissens hat ihm anläßlich seines 70. Geburtstages die Danziger Technische Hochschule die Würde eines Dr.-Ing. eh. zuerteilt. [N 365]

Siegener Bezirksverein des Vereines deutscher Ingenieure.

Berechnung der Luftverflüssigungs- und Trennungsapparate.

Von Dr.-Ing. Victor Fischer, Frankfurt a. M.

Die Vorgänge bei der Rektifikation der Luft werden im allgemeinen dargestellt und sodann an Zahlentafeln erläutert. Ferner werden die Wärmegleichungen für die Vorgänge im Innern des Trennungsapparates aufgestellt und ebenfalls zahlenmäßig ausgewertet. Zum Schluß wird die Energiegleichung des Trennungsapparates abgeleitet und aus dieser der Betriebsdruck sowohl für Apparate zur Gewinnung gasförmigen als auch für solche zur Gewinnung flüssigen Sauerstoffes bestimmt. Für diesen Fall wird auch eine Formel angegeben, die die Berechnung der Sauerstoffausbeute bei gegebenem Betriebsdruck und gegebener Anfangstemperatur gestattet.

Der erste, der die atmosphärische Luft in größeren Mengen verflüssigte, war C. v. Linde (1895); ihm gelang auch die Trennung der flüssigen Luft in ihre Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff durch Rektifikation (1902), womit er eine große Industrie schuf. Über die Theorie der Luftverflüssigung sind verschiedene Arbeiten erschienen, insbesondere von Linde selbst, sowie auch von Schröter[1]). Eine Theorie der Luftverflüssigungs- und Trennungsapparate, die die Vorgänge in diesen Apparaten rechnerisch verfolgt, besteht noch nicht. In diese Lücke greift die vorliegende Arbeit ein.

Apparate mit einer Trennungssäule.

Die Arbeitsweise eines Apparates mit einer Trennungssäule sei im folgenden kurz beschrieben: Die von einem Kompressor aus der Atmosphäre angesaugte Luft wird durch chemische Mittel wie Chlorkalzium, Ätznatron, Ätzkali von ihrem Kohlensäure- und Wassergehalt befreit, wobei das Wasser auch durch Ausfrieren entfernt werden kann. Beim Anfahren wird die angesaugte Luft auf 200 at verdichtet, die Herunterkühlung im Trennungsapparat auf ihre Siedetemperatur von —194 °C erfolgt durch Ausnutzung des bei der Entspannung der verdichteten Luft auftretenden Joule-Thomsonschen Kühleffektes im Gegenstromkühler. Nach Eintritt der Verflüssigung und beim Übergang in den Beharrungszustand wird der Druck der Luft von 200 auf ungefähr 60 at heruntergeregelt.

Die verdichtete Luft tritt bei l, Abb. 1, in den Trennungsapparat ein, durchströmt nacheinander die Gegenstromschlange g sowie die Heizschlange h, wird durch das Ventil v entspannt, strömt als Flüssigkeit über die Tellersäule a abwärts und sammelt sich am Boden des Apparates als flüssiger Sauerstoff. Die Trennung der Luft in ihre Bestandteile, Sauerstoff und Stickstoff, geschieht innerhalb der Tellersäule a. Der gewonnene Sauerstoff wird aus dem Sauerstoffbad b bei o_1 abgezogen und geht durch eine Rohrschlange, die zwischen die Luftschlange des Gegenstromkühlers g gewickelt ist, bei o aus dem Apparat, wobei ein Temperaturausgleich zwischen dem kalt abströmenden Sauerstoff und der warm zuströmenden Luft erfolgt. Die von der Tellersäule a hochsteigenden Stickstoffdämpfe entweichen durch die Zwischenräume des Rohrbündels der Gegenstromschlange g bei n aus dem Apparat, ebenfalls mit der zuströmenden Luft ihre Temperatur ausgleichend. Die Luft wird im Gegenstromkühler so tief gekühlt, daß sie sich in der Heizschlange h verflüssigt und daher flüssig vor das Entspannungsventil v kommt, während der Flüssigkeit im Sauerstoffbad b durch die Heizschlange h Wärme zugeführt wird, wodurch sich aus ihr die für den Trennungsvorgang in der Tellersäule a notwendigen Dämpfe entwickeln. Dadurch unterscheidet sich die Lufttrennung wesentlich von den Rektifikationsvorgängen, wie z. B. der Alkohol- und Wassertrennung, wo die für die Beheizung der Tellersäule nötige Wärme dem Apparat von außen zugeführt wird. Bei der Lufttrennung wird diese Wärme innerhalb des Apparates erzeugt.

Die nachfolgenden Untersuchungen sind in zwei Hauptteile geschieden. Der erste Teil behandelt die Vorgänge im Innern des Trennungsapparates, und zwar wird erst die Trennung der Luft in der Tellersäule a rechnerisch verfolgt und dann zur Aufstellung der Wärmegleichungen des Gegenstromkühlers g, der Heizschlange h und des Entspannungsventils v geschritten. Im zweiten Teil wird die Energiegleichung des Trennungsapparates aufgestellt, die unabhängig von den Einzelvorgängen im Innern desselben ist. Die Energiegleichung des Trennungsapparates ist bei der Gewinnung gasförmigen und flüssigen Sauerstoffes nicht die gleiche.

Bezeichnungen.

$L = O + N$ angesaugte Luft in kg/h,
$\Omega + N$ durch den Gegenstromkühler entweichendes Stickstoffgemisch,
n Tellerzahl der Trennungssäule,
o_m flüssiger Sauerstoff vom $m$ten Teller in kg/h,
n_m „ Stickstoff „ „ „ „ „
ω_m gasförmiger Sauerstoff vom $m$ten Teller in kg/h,
ν_m „ Stickstoff „ „ „ „ „
$F_m = \frac{o_m}{n_m}$ Verhältnis zwischen flüssigem Sauerstoff und Stickstoff auf dem $m$ten Teller,
$f_m = \frac{\omega_m}{\nu_m}$ Verhältnis zwischen gasförmigem Sauerstoff und Stickstoff auf dem $m$ten Teller,
C_m die dem $m$ten Teller zugeführte Wärme in kcal/h,
α_m Verdampfungswärme des Stickstoffes auf dem $m$ten Teller in kcal/kg,
β_m Verdampfungswärme des Sauerstoffes auf dem $m$ten Teller in kcal/kg,
r Verdampfungswärme der Luft in kcal/kg,
c_{p_1} mittlere spezifische Wärme der Luft bei gleichbleibendem Druck im Gegenstromkühler in kcal/kg °C,
c_{p_2} mittlere spezifische Wärme der Luft bei gleichbleibendem Druck im Sauerstoffbad in kcal/kg °C,
c_{p_n} mittlere spezifische Wärme des Stickstoffes bei gleichbleibendem Druck im Gegenstromkühler in kcal/kg °C,
c_{p_o} mittlere spezifische Wärme des Sauerstoffes bei gleichbleibendem Druck im Gegenstromkühler in kcal/kg °C,
c_n wahre spezifische Wärme des flüssigen Stickstoffes bei 1 at in kcal/kg °C,
c_o wahre spezifische Wärme des flüssigen Sauerstoffes bei 1 at in kcal/kg °C,
c wahre spezifische Wärme für eine beliebige Zustandsänderung in kcal/kg °C,
c_σ wahre spezifische Wärme der siedenden Flüssigkeit in kcal/kg °C,
i Wärmeinhalt bei gleichbleibendem Druck in kcal/kg,
i_σ Wärmeinhalt bei gleichbleibendem Druck der siedenden Flüssigkeit in kcal/kg,

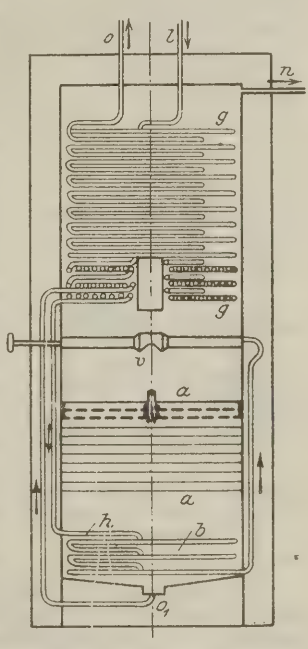


Abb. 1. Trennapparat mit einer Trennungssäule.

U innere Energie in kcal/kg,
Q_1 der Luft im Gegenstromkühler entzogene Wärme in kcal/h,
Q_2 der Luft im Sauerstoffbad entzogene Wärme in kcal/h,
Q_3 der Luft im Entspannungsventil entzogene Wärme in kcal/h
Q_I dem Sauerstoff und Stickstoff im Gegenstromkühler zugeführte Wärme in kcal/h,
Q_{II} dem Sauerstoff und Stickstoff im Sauerstoffbad zugeführte Wärme in kcal/h,
Q_{III} dem Sauerstoff und Stickstoff im Entspannungsventil zugeführte Wärme in kcal/h,
x bei der Entspannung verdampfte Flüssigkeitsmenge je kg,
T absolute Temperatur,
t_1 Temperatur der Luft beim Eintritt in den Gegenstromkühler in °C,
t_1' Temperatur des Stickstoffes beim Austritt aus dem Gegenstromkühler in °C,
t_1'' Temperatur des Sauerstoffes beim Austritt aus dem Gegenstromkühler in °C,
t_x Temperatur der Luft beim Austritt aus dem Gegenstromkühler in °C,
t_N Temperatur des Stickstoffes beim Eintritt in den Gegenstromkühler in °C,
t_o Temperatur des Sauerstoffes beim Eintritt in den Gegenstromkühler in °C,

[1]) Vergl. Z. Bd. 39 (1895) S. 1157, Bd. 44 (1900) S. 69.

t_h Temperatur der flüssigen Luft vor dem Entspannungsventil in ^{0}C,
t_m Siedetemperatur der Flüssigkeit auf dem $m$ten Teller in ^{0}C
t_s „ „ Luft in ^{0}C,
t_k kritische Temperatur der Luft in ^{0}C,
v spezifischer Rauminhalt in m³/kg,
σ „ „ der siedenden Flüssigkeit in m³/kg,
v_k kritischer Rauminhalt in m³/kg,
P spezifischer Druck in kg/m²,
P_s „ Sättigungsdruck in kg/m²,
P_k kritischer Druck in kg/m²,
p_1 spezifischer Druck vor der Entspannung in kg/cm²,
p_2 „ „ nach der „ „ „
$R = 29{,}26$ Gaskonstante der Luft,
$A = \frac{1}{427}$ mechanisches Wärmeäquivalent.

A) Die Vorgänge im Innern des Trennungsapparates.

I. Berechnung der Tellerzahl für die Trennungsäule.

Wir können zwei verschiedene Grundformen von Trennungssäulen unterscheiden:

1. Die Perlensäule. Die entspannte Flüssigkeit rieselt in ihr abwärts, die aus dem Sauerstoffbad sich entwickelnden Dämpfe steigen in ihr hoch. Flüssigkeit und Dampf durchdringen sich auf ihrem ganzen Wege gleichmäßig.

2. Die Tellersäule. Die herabströmende Flüssigkeit und der aufsteigende Dampf werden getrennt voneinander geführt, Abb. 2. Sie durchdringen sich auf den Tellern, wobei sich der aufsteigende wärmere Dampf in der kälteren Flüssigkeit niederschlägt und durch die hierbei freiwerdende Wärme die von oben herabströmende Flüssigkeit zum Verdampfen bringt.

Abb. 2. Tellersäule im Innern des Trennungsapparates.

Ein Mittelding zwischen diesen beiden Grundformen ist die Trennungssäule, die aus einer großen Zahl schmaler Siebteller besteht, wobei eine getrennte Führung von Flüssigkeit und Dampf nicht erfolgt, Abb. 1. Diese Ausführungsart ist die in der Praxis gebräuchlichste.

Die Anordnung nach Abb. 2 gestattet eine einfache rechnerische Verfolgung des Trennungsvorganges. Sie wird daher den nachfolgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

Die Trennung der Luft in ihre Bestandteile ist nicht vollständig, sondern es bildet sich einerseits ein sauerstoffreiches, anderseits ein stickstoffreiches Gemisch. Dies läßt sich allgemein folgendermaßen ausdrücken:

Es treten ein bei l, siehe Abb. 1 . . . . $(O + N)$ kg/h
es fließen ab bei o . . . . $(o + n)$ „
es entweichen bei n . . . . $(\Omega + \mathsf{N})$ „

es gilt daher

$$L = O + N = (o + n) + (\Omega + \mathsf{N}) \quad \ldots \ldots (1).$$

Für die Entspannung im Ventil v besteht die Drosselgleichung

$$i_1 = i_2 + x\,r \quad \ldots \ldots \ldots (2),$$

wobei vorausgesetzt ist, daß der Unterschied der Bewegungsenergien vor und nach der Drosselung vernachlässigbar klein ist

Aus Gl. (2) berechnen wir die infolge der Entspannung für 1 kg und 1 h verdampfende Flüssigkeit x. Setzen wir $x\,L = l$, und versehen wir die Bestandteile des vom Entspannungsventil kommenden Dampfes und der Flüssigkeit mit dem Index $n + 1$, wobei n die Tellerzahl der Trennungssäule bedeutet, so ist die gesamte infolge der Entspannung in einer Stunde verdampfende Flüssigkeit ihrer Menge und Zusammensetzung nach gegeben durch

$$\omega_{n+1} + \nu_{n+1} = x\,L = l \quad \ldots \ldots \ldots (3)$$

und die vom Entspannungsventil auf den obersten Teller der Trennungssäule in einer Stunde strömende Flüssigkeit durch

$$o_{n+1} + n_{n+1} = (1 - x)\,L = L - l \quad \ldots \ldots (4).$$

Die Verdampfung infolge der Entspannung bedingt eine Anreicherung der abfließenden entspannten Luft mit Sauerstoff, die sich wie folgt berechnen läßt:

Die dem Entspannungsventil in der Stunde zufließende Luft ist . . . . $N + O$,
die vom Entspannungsventil in der Stunde abfließende Luft . . . . $n_{n+1} + o_{n+1}$,
die aus dem Entspannungsventil in der Stunde verdampfende Luft . . . . $\nu_{n+1} + \omega_{n+1}$.

Es gilt daher in jedem Augenblick

$$N + O = n_{n+1} + o_{n+1} + \nu_{n+1} + \omega_{n+1}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{O}{N} = F,\ \frac{o_{n+1}}{n_{n+1}} = F_{n+1} \ \text{ und } \ \frac{\omega_{n+1}}{\nu_{n+1}} = f_{n+1},$$

so können wir auch schreiben:

$$N(1 + F) = n_{n+1}(1 + F_{n+1}) + \nu_{n+1}(1 + f_{n+1}).$$

Da nun $n_{n+1} = N - \nu_{n+1}$, so folgt daraus nach einfacher Umformung für den während der Entspannung verdampften Stickstoff die Beziehung

$$\nu_{n+1} = N\,\frac{F_{n+1} - F}{F_{n+1} - f_{n+1}} \quad \ldots \ldots (5).$$

Der Zusammenhang zwischen F_{n+1} und f_{n+1} ist von Baly durch Versuche ermittelt, so daß, wenn die eine Größe gegeben ist, auch die andre bekannt ist. Es bleibt also außer ν_{n+1} immer noch eine zweite Unbekannte, und es ist daher ν_{n+1} aus Gl. (5) nur durch Versuchen zu ermitteln. Wir bedienen uns hierzu der von Hausbrand nach Baly berechneten Zahlentafel[1]).

Für den Beharrungszustand der der Tellersäule zufließenden und der von ihr abfließenden Flüssigkeiten und Dämpfe gilt nun unabhängig von der Verteilung auf den einzelnen Tellern folgendes:

Zuströmende Flüssigkeit aus dem Entspannungsventil auf den obersten Teller der Trennungssäule $o_{n+1} + n_{n+1}$,
entweichender Dampf vom obersten Teller der Trennungssäule in das Stickstoff-Abgangsrohr . . $\omega_n + \nu_n$,
abströmende Flüssigkeit aus dem Sauerstoffbad in das Sauerstoff-Abgangsrohr . . . . $o + n$.

Im Beharrungszustande muß daher sein:

$$o_{n+1} = \omega_n + o \quad \ldots \ldots \ldots (6)$$

$$n_{n+1} = \nu_n + n \quad \ldots \ldots \ldots (7).$$

Wir kommen nun zur Bestimmung der Beharrungszustände für die einzelnen Teller der Trennungssäule, aus denen sich ihre Zahl berechnet, und beginnen mit der Rechnung vom untersten Teller. Es ist, wie bereits erwähnt, hierbei vorausgesetzt, daß sich der Apparat im Beharrungszustand befindet. Demnach ändert sich sowohl im Sauerstoffbad als auch auf den einzelnen Tellern weder die Menge noch die Zusammensetzung und mit ihr die Temperatur der Flüssigkeit.

Den aus dem Sauerstoffbad aufsteigenden Dampf, s. Abb. 2, erhält man aus

$$C_o = \nu_o\,\alpha_o + \omega_o\,\beta_o = \nu_o\,(\alpha_o + f_o\,\beta_o) \quad \ldots \ldots (8)$$

zu

$$\nu_o = \frac{C_o}{\alpha_o + f_o\,\beta_o} \quad \ldots \ldots \ldots (9)$$

und

$$\omega_o = f_o\,\nu_o \quad \ldots \ldots \ldots (10);$$

f_o ist bekannt, da das zugehörige $F_o = \frac{o}{n}$ bei bestimmter Sauerstoffausbeute und Reinheit des gewonnenen Sauerstoffes gegeben ist.

Nachdem ν_0 und ω_0 berechnet ist, können wir den Beharrungszustand für das Sauerstoffbad feststellen. Diesem strömt zu vom untersten Teller

an Flüssigkeit . . . . $o_1 + n_1$,
es strömt ab als Endprodukt an Flüssigkeit . $o + n$,
es strömt ab zum untersten Teller an Dampf $\omega_o + \nu_o$.

Im Beharrungszustand gilt daher

$$o_1 = o + \omega_o \quad \ldots \ldots (11)$$

und

$$n_1 = n + \nu_o \quad \ldots \ldots (12);$$

daraus folgt $\quad F_1 = \frac{o_1}{n_1}.$

[1]) Vergl. E. Hausbrand, Rektifizier- und Destillierapparate, 4. Auflage, S. 253 Zahlentafel 57.

Mit F_1 ist die Zusammensetzung der Flüssigkeit auf dem untersten Teller gegeben, und mit diesem ist auch die Zusammensetzung des sich über ihr entwickelnden Dampfes

$$f_1 = \frac{\omega_1}{\nu_1}$$

bestimmt.

Der aus dem Sauerstoffbad aufsteigende Dampf $\omega_0 + \nu_0$ verdichtet sich in dem untersten Teller; es wird dadurch die für denselben aufgewendete Wärme C_0 frei, die ihrerseits wieder eine entsprechende Verdampfung der Flüssigkeit auf dem untersten Teller bewirkt. Es wird sich ferner der vom Sauerstoffbad aufsteigende und sich in der Flüssigkeit des untersten Tellers verdichtende Dampf in dieser abkühlen unter Abgabe der Wärme

$$\gamma_1 = (c_{p_o}\,\omega_o + c_{p_n}\,\nu_o)(t_o - t_1),$$

während sich die vom zweiten Teller herabströmende Flüssigkeit in jener des ersten Tellers erwärmen wird unter Aufnahme der Wärme

$$c_1 = (c_o\, o_2 + c_n\, n_2)(t_1 - t_2).$$

Demnach ist die gesamte der Flüssigkeit auf dem untersten Teller zugeführte Wärme

$$C_1 = C_o + \gamma_1 - c_1.$$

Aus C_1 erhält man nun

$$\nu_1 = \frac{C_1}{\alpha_1 + f_1\,\beta_1}$$

und

$$\omega_1 = f_1\,\nu_1.$$

Im Beharrungszustand gilt für den untersten Teller, siehe Abb. 2:

Zuströmende Flüssigkeit . . . . $o_2 + n_2$,
zuströmender Dampf . . . . $\omega_o + \nu_o$,
abströmende Flüssigkeit . . . . . . $o_1 + n_1$,
abströmender Dampf . . . . $\omega_1 + \nu_1$.

Daher

$$o_2 + \omega_o = o_1 + \omega_1$$

und

$$n_2 + \nu_o = n_1 + \nu_1.$$

Mit Rücksicht auf Gl. (11) und (12) folgt daraus:

$$o_2 = o + \omega_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (13)$$

und

$$n_2 = n + \nu_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (14)$$

Mithin wird

$$F_2 = \frac{o_2}{n_2}, \quad f_2 = \frac{\omega_2}{\nu_2}.$$

Es gilt allgemein für den $m$ten Teller zur Bestimmung der abströmenden Flüssigkeit

$$o_m = o + \omega_{m-1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (15)$$

$$n_m = n + \nu_{m-1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (16).$$

Ebenso gilt allgemein für den $m$ten Teller

$$\gamma_m = (c_{p_o}\,\omega_{m-1} + c_{p_n}\,\nu_{m-1})(t_{m-1} - t_m) \quad \ldots (17)$$

$$c_m = (c_o\, o_{m+1} + c_n\, n_{m+1})(t_m - t_{m+1}) \quad \ldots (18),$$

daher

$$C_m = C_{m+1} + \gamma_m - c_m \quad \ldots \ldots \ldots (19)$$

und

$$\nu_m = \frac{C_m}{\alpha_m + f_m\,\beta_m} \quad \ldots \ldots \ldots (20),$$

$$\omega_m = f_m\,\beta_m \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (21).$$

Für den obersten Teller der Trennungssäule gehen Gl. (15) und (16) über in Gl. (6) und (7).

Diese Rechnung wird daher so lange fortgesetzt, bis $o_{n+1} + n_{n+1}$ die gleiche Menge und Zusammensetzung hat wie die aus dem Entspannungsventil auf den obersten Teller strömende flüssige Luft.

n gibt die Zahl der Teller in der Trennungssäule an.

Im Gegensatz zu obiger Rechnung kann der Sauerstoff aus dem Sauerstoffbad auch dampfförmig abgezogen werden. Die Ausflußöffnung befindet sich dann im Dampfraume des Sauerstoffbades.

Im Beharrungszustand gilt wieder Gl. (11) und (12).

Da nun $o + n$ und $\omega_o + \nu_o$ Teile desselben aus dem Sauerstoffbad aufsteigenden Dampfes sind, so ist

$$\frac{o}{n} = \frac{\omega_o}{\nu_o} = \frac{o + \omega_o}{n + \nu_o} = f_o.$$

Mithin ergibt sich aus (11) und (12)

$$\frac{o_1}{n_1} = F_1 = f_o \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (22).$$

Die Flüssigkeit auf dem untersten Teller der Trennungssäule hat also dieselbe Zusammensetzung wie der aus dem Sauerstoffbad aufsteigende Dampf. Dies bedingt gegenüber dem Falle, wo der Sauerstoff flüssig aus dem Bade abgezogen wird, bei gleicher Reinheit des Endproduktes einen Mehraufwand von einem Teller für die Trennungssäule.

Die von der Heizschlange abzugebende Wärme zerfällt nun in zwei Teile, und zwar in einen Teil C_0, der sich von unten nach oben durch die Trennungssäule fortpflanzt und identisch ist mit dem Werte C_0 der Gl. (8), und in einen Teil

$$C = n\,\alpha_o + o\,\beta_o \quad \ldots \ldots \ldots (23),$$

der zur Verdampfung des in den Gegenstromkühler abziehenden Sauerstoffes dient. Die gesamte von der Heizschlange abzugebende Wärme ist jetzt

$$C' = C + C_o = (\nu_o + n)\,\alpha_o + (\omega_o + o)\,\beta_o \quad \ldots \ldots (24).$$

Im übrigen gestaltet sich die Rechnung genau so wie in dem Falle, wo der Sauerstoff flüssig aus dem Bade abgezogen wird.

II. Erzielung einer Höchstausbeute an Sauerstoff.

Die mögliche Höchstausbeute an Sauerstoff werden wir erhalten, wenn die Flüssigkeit auf dem obersten Teller der Trennungssäule dieselbe Zusammensetzung hat wie jene, die vom Entspannungsventil abströmt. Dies ergibt sich aus folgender Überlegung:

Einen geringeren Sauerstoffgehalt als die vom Entspannungsventil kommende Flüssigkeit kann die Flüssigkeit auf dem obersten Teller nicht erhalten, ein größerer Sauerstoffgehalt der letzteren bedeutet einen Verlust an Sauerstoffausbeute. Die Bedingung für die Erzielung einer Höchstausbeute lautet daher:

$$F_n = F_{n+1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (25)$$

und

$$f_n = f_{n+1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (26)$$

bezw.

$$\frac{o_n}{n_n} = \frac{o_{n+1}}{n_{n+1}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (27)$$

und

$$\frac{\omega_n}{\nu_n} = \frac{\omega_{n+1}}{\nu_{n+1}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (28).$$

Nach Gl. (6) und (7) gilt nun

$$n + o + \nu_n + \omega_n = n_{n+1} + o_{n+1}$$

Daraus ergibt die gleiche Ableitung wie zu Gl. (5)

$$n = n_{n+1}\,\frac{F_{n+1} - f_n}{f_o - f_n} \quad \ldots \ldots \ldots (29)$$

woraus sich unter Berücksichtigung von Gl. (25) ergibt:

$$n = n_{n+1}\,\frac{F_n - f_n}{f_o - f_n} \quad \ldots \ldots \ldots (30),$$

daher

$$o = f_o\, n \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (31)$$

bezw.

$$\nu_n = n_{n+1}\,\frac{f_o - F_n}{f_o - f_n} \quad \ldots \ldots \ldots (32)$$

und

$$\omega_n = f_n\,\nu_n \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (33).$$

Aus Gl. (30) und (31) bzw. (32) und (33) können wir nun die Höchstausbeute an Sauerstoff unter der Voraussetzung trockenen Dampfes bestimmen.

Die Durchführung von Zahlenbeispielen zeigt, daß die Menge des in der Trennungssäule aufsteigenden Dampfes und der herabströmenden Flüssigkeit nahezu unverändert bleibt. Daraus ergibt sich ein einfacheres Berechnungsverfahren, das im folgenden ausgeführt ist.

III. Berechnungsverfahren unter der Annahme, daß die Menge des in der Trennungssäule aufsteigenden Dampfes unverändert bleibt.

Dieser Annahme entsprechend setzen wir

$$\omega_o + \nu_o = \omega_1 + \nu_1 = \omega_2 + \nu_2 = \cdots\cdots = \omega_n + \nu_n = k. \quad . . (34)$$

und unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Gl. (15) und (16)

$$o_1 + n_1 = o_2 + n_2 = \cdots\cdots = o_n + n_n$$
$$= o_{n+1} + n_{n+1} = k + o + n = K \quad . . (35).$$

Man kann daher allgemein schreiben:

$$\omega_m + \nu_m = \nu_m(1 + f_m) = k \quad \ldots \ldots \ldots (36),$$

und

$$o_m + n_m = n_m(1 + F_m) = K \quad \ldots \ldots \ldots (37),$$

daraus folgt:

$$\nu_m = \frac{k}{1 + f_m} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (38)$$

und

$$n_m = \frac{K}{1 + F_m} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (39).$$

Einfacher gestaltet sich die Rechnung, wenn wir statt der Verhältniszahlen f_m und F_m die Vomhundertgehalte des Stickstoffes, die wir mit

$$\nu_m \, \mathrm{vH} = 100 \frac{\nu_m}{\nu_m + \omega_m} = \frac{100}{1 + f_m} \quad \ldots \ldots (40)$$

und

$$n_m \, \mathrm{vH} = 100 \frac{n_m}{n_m + o_m} = \frac{100}{1 + F_m} \quad \ldots \ldots (41)$$

bezeichnen wollen, zugrunde legen. Es wird dann:

$$\nu_m = k \frac{\nu_m \, \mathrm{vH}}{100} \quad \ldots \ldots (42)$$

$$n_m = K \frac{n_m \, \mathrm{vH}}{100} \quad \ldots \ldots (43)$$

Mit Hilfe der Gl. (42) läßt sich die Tellerzahl berechnen, wenn man vom untersten Teller beginnt, und mit Hilfe der Gl. (43), wenn man beim obersten Teller anfängt.

In beiden Fällen geht man aus von Gl. (4), durch die

$$o_{n+1} + n_{n+1} = (1 - x) L = K$$

bestimmt ist. Mit Hilfe von Gl. (5) wird nun F_{n+1} bezw. n_{n+1} vH ermittelt. Aus Gl. (43) ergibt sich dann

$$n_{n+1} = K \frac{n_{n+1} \, \mathrm{vH}}{100},$$

daraus folgt

$$o_{n+1} = K - n_{n+1}.$$

Aus Gl. (6) und (7) läßt sich nun ω_n und ν_n berechnen, womit f_n und mittels der Hausbrand-Tafel das zugehörige F_n sowie n_n vH bestimmt sind. Aus Gl. (43) ergibt sich dann

$$n_n = K \frac{n_n \, \mathrm{vH}}{100},$$

daraus folgt

$$o_n = K - n_n.$$

Aus Gl. (15) und (16) läßt sich ν_{n-1} und ω_{n-1} ermitteln, womit f_{n-1} und F_{n-1} festliegen. In dieser Weise setzt sich die Rechnung vom obersten bis zum untersten Teller fort.

Wenn man die Rechnung vom untersten zum obersten Teller durchführt, so gilt folgendes:

Durch ω_n und ν_n ist

$$k = \omega_n + \nu_n$$

gegeben. Da nun durch die zugrunde gelegte Reinheit des gewonnenen Sauerstoffes ν_o vH bestimmt ist, so folgt aus Gl. (42)

$$\nu_o = k \frac{\nu_o \, \mathrm{vH}}{100}$$

daher

$$\omega_o = k - \nu_o.$$

Aus Gl. (11) und (12) wird nun n_1 und o_1 ermittelt, woraus man n_1 vH und mittels der Hausbrand-Tafel das zugehörige ν_1 vH erhält; in der angegebenen Weise rechnet man bis zum obersten Teller weiter.

Es ist zweckmäßig, bei diesem Rechnungsgang von der Bestimmung des f_m und F_m ganz abzusehen und an deren Stelle nur mit ν_m vH und n_m vH zu rechnen.

IV. Wärmegleichung für den Gegenstromkühler.

Aus dieser wird nach Ermittlung der spezifischen Wärme c_{p_1} die Temperatur t_x berechnet, mit der die verdichtete Luft in die Heizschlange eintritt. Zur Aufstellung der Wärmegleichung des Gegenstromkühlers erhalten wir für die diesem zuströmende Luft

$$Q_1 = L \, c_{p_1} (t_1 - t_x) \quad \ldots \ldots (44),$$

und für den entweichenden Stickstoff

$$Q_I = (\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o) + n \, \alpha_o + o \, \beta_o \quad \ldots (45).$$

Unter der Annahme eines vollständigen Wärmeschutzes gilt:

$$L \, c_{p_1} (t_1 - t_x) = (\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o) + n \, \alpha_o + o \, \beta_o \quad \ldots (46),$$

daher

$$c_{p_1} = \frac{\left\{ \begin{array}{c} (\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) \\ + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o) + n \, \alpha_o + o \, \beta_o \end{array} \right\}}{L (t_1 - t_x)} \quad \ldots (47).$$

In dem Falle, wo der Sauerstoff dampfförmig vom Sauerstoffbad abzieht, geht Gl. (45) über in

$$Q_I' = (\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o) \quad . (48),$$

es wird daher

$$L \, c_{p_1} (t_1 - t_x) = (\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o) \quad \ldots (49)$$

und

$$c_{p_1} = \frac{(\mathrm{N} \, c_{p_n} + \Omega \, c_{p_o}) (t_1' - t_{\mathrm{N}}) + (n \, c_{p_n} + o \, c_{p_o}) (t_1'' - t_o)}{L (t_1 - t_x)} \quad (50).$$

V. Wärmegleichung für das Sauerstoffbad.

Sie enthält die Heizwärme C_o, siehe Gl. (8), für die Trennungssäule. Es wird vorausgesetzt, daß der Druck der verdichteten Luft höher als der kritische ist, so daß bei ihrer Verflüssigung keine Verdichtungswärme auftritt.

Die verdichtete Luft tritt mit der Temperatur t_x in die Heizschlange des Sauerstoffbades, in der sie sich verflüssigt und auf die Temperatur t_h abkühlt, die höher sein wird als die Siedetemperatur des im Bade verdampfenden Sauerstoffes. Es ist daher

$$Q_2 = L \, c_{p_2} (t_x - t_h) \quad \ldots \ldots (51).$$

Die durch die Heizschlange dem Sauerstoffbad zugeführte Wärme dient zur Verdampfung des Sauerstoffes. Es ist daher, wenn der Sauerstoff flüssig abgezogen wird,

$$Q_{II} = \nu_o \, \alpha_o + \omega_o \, \beta_o + (c_o \, o_1 + c_n \, n_1) (t_o - t_1) \quad \ldots (52).$$

Unter der Annahme vollständigen Wärmeschutzes wird

$$L \, c_{p_2} (t_x - t_h) = \nu_o \, \alpha_o + \omega_o \, \beta_o + (c_o \, o_1 + c_n \, n_1) (t_o - t_1) \quad . (53).$$

Für den Fall, wo der Sauerstoff dampfförmig vom Sauerstoffbad abzieht, wird

$$Q_{II}' = (\nu_o + n) \, \alpha_o + (\omega_o + o) \, \beta_o + (c_o \, o_1 + c_n \, n_1) (t_o - t_1) \quad . (54).$$

Gl. (53) geht dann über in

$$L \, c_{p_2} (t_x - t_h) = (\nu_o + n) \, \alpha_o + (\omega_o + o) \, \beta_o + (c_o \, o_1 + c_n \, n_1) (t_o - t_1) \quad . (55).$$

Für den Fall, daß der Druck der verdichteten Luft niedriger ist als der kritische, kommt bei der Verflüssigung der Luft im Sauerstoffbad deren Verdampfungswärme in Rechnung. Die Gl. (51) geht damit über in

$$Q_2 = L \left[c_{p_2} (t_x - t_s) + r + c_{p_f} (t_s - t_h) \right] \quad \ldots (56).$$

VI. Wärmegleichung für das Entspannungsventil.

Sie dient zur Berechnung der bei der Entspannung der Luft wieder verdampfenden Flüssigkeitsmenge x. Diese Zahl ist wichtig für die Ermittlung der Sauerstoffausbeute.

Die flüssige Luft kommt mit der Temperatur t_h vor das Entspannungsventil und kühlt sich bei der Drosselung auf die Siedetemperatur t_{n+1} ab. Die Drosselung der Luft im Entspannungsventil ist in dem p, v-Diagramm, Abb. 3, durch die Zustandskurve ABC von gleichbleibendem Wärmeinhalt dargestellt. Zu Beginn der Drosselung wird sich die Flüssigkeit zunächst bis zum Siedezustand entspannen, siehe die Kurve AB.

Es gilt allgemein

$$d\,i = c \, d\,T + A \, v \, d\,p \quad . (57).$$

Bezeichnen wir mit c_i die spezifische Wärme für eine Zustandsänderung bei gleichbleibendem Wärmeinhalt, mithin für eine Drosselung, so folgt hierfür aus Gl. (57)

$$0 = c_i \, d\,T + A \, v \, d\,p \quad . (58),$$

daraus ergibt sich durch Integration

$$\int_{T_h}^{T_s} c_i \, d\,T = - A \int_{p_1}^{p_s} v \, d\,p \quad (59).$$

Abb. 3. p, v-Diagramm.

Führen wir für c_i und v Mittelwerte ein, so erhalten wir

$$c_{i_m} (T_s - T_h) = A \, v_m (p_1 - p_s) \quad \ldots \ldots (60).$$

Da der Ausdruck rechts vom Gleichheitszeichen positiv sein muß, tritt bei der Drosselung eine Erwärmung der Flüssigkeit ein, wenn c_{i_m} positiv ist, und eine Abkühlung, wenn es negativ ist.

Für die Zustandänderung der siedenden Flüssigkeit von B bis D entlang des Flüssigkeitastes der Grenzkurve gilt nach Gl. (57)

$$d\,i_\sigma = c_\sigma \, d\,T_s + A \, \sigma \, d\,p \quad \ldots \ldots (61).$$

Daraus folgt durch Integration

$$i_2 - i_1 = \int_{T_s}^{T_{n+1}} c_\sigma \, d\,T_s + A \int_{p_s}^{p_2} \sigma \, d\,p \quad \ldots \ldots (62).$$

Führen wir wieder Mittelwerte für die spezifische Wärme und den Rauminhalt ein, so erhalten wir aus (62)

$$i_1 - i_2 = c_{\sigma m} (T_s - T_{n+1}) + A \, \sigma_m (p_s - p_2) \quad \ldots (63).$$

Anderseits gilt, siehe Abb. 3, für den Endzustand C der Drosselung

$$i_1 = i_2 + x \, r \quad \ldots \ldots (64).$$

Aus (63) und (64) folgt

$$x \, r = c_{\sigma m} (T_s - T_{n+1}) + A \, \sigma_m (p_s - p_2) \quad \ldots (65).$$

Der Ausdruck rechts vom Gleichheitszeichen in Gl. (60) wird eine kleine Größe sein, so daß wir angenähert $T_s \sim T_h$ setzen können. In Gl. (65) wird der zweite Summand klein sein im Verhältnis zum ersten, so daß wir für (65) angenähert schreiben können

$$x\,r = c_{\sigma m}(T_h - T_{n+1}) \quad \ldots \ldots \ldots (66)$$

Es ist nun nach Gl. (66)

$$Q_3 = L\,c_{\sigma m}(t_h - t_{n+1}) \quad \ldots \ldots (67)$$

und mit Gl. (3)

$$Q_{III} = L\,x\,r = \alpha_{n+1}\,\nu_{n+1} + \beta_{n+1}\,\omega_{n+1} \quad \ldots (68),$$

mithin auch

$$L\,c_{\sigma m}(t_h - t_{n+1}) = \alpha_{n+1}\,\nu_{n+1} + \beta_{n+1}\,\omega_{n+1} \ldots (69).$$

VII. Wärmegleichung für den ganzen Apparat.

Die gesamte in einer Stunde der zugeführten Luft bis zur Erreichung der tiefsten Temperatur t_{n+1} im Apparate entzogene Wärme ist

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q \quad \ldots \ldots \ldots (70).$$

Die gesamte in einer Stunde dem abziehenden Sauerstoff und Stickstoff im Apparate zugeführte Wärme ist

$$Q_I + Q_{II} + Q_{III} = Q_I' + Q_{II}' + Q_{III} = Q' \quad \ldots (71).$$

Gl. (71) gilt sowohl für den Fall, daß der Sauerstoff flüssig, als auch für den Fall, daß er gasförmig aus dem Sauerstoffbad ab ge zogen wird.

In die Gl. (70) und (71) sind die im Vorhergehenden ermittelten Ausdrücke einzusetzen.

Bei vollständiger Isolation des Trennungsapparates ist

$$Q = Q' \quad \ldots \ldots \ldots (72).$$

Findet eine Wärmeeinströmung Q_s statt, so gilt

$$Q + Q_s = Q' \quad \ldots \ldots \ldots (73).$$

Bei der Gewinnung von flüssigem Sauerstoff ändert sich Gl. (45) in

$$Q_I'' = (\mathrm{N}\,c_{p_n} + \Omega\,c_{p_o})(t_1' - t_{\mathrm{N}}) \quad \ldots \ldots (74),$$

daher tritt an Stelle von Gl. (46)

$$L\,c_{p_1}(t_1 - t_x) = (\mathrm{N}\,c_{p_n} + \Omega\,c_{p_o})(t_1' - t_{\mathrm{N}}) \quad \ldots (75),$$

mithin wird

$$c_{p_1} = \frac{(\mathrm{N}\,c_{p_n} + \Omega\,c_{p_o})(t_1' - t_{\mathrm{N}})}{L\,(t_1 - t_x)} \quad \ldots \ldots (76).$$

VIII. Anwendungen.

Führen wir die im I. und II. Teil allgemein entwickelte Berechnung für 100 kg stündlich angesaugter Luft unter der Annahme durch, daß im Sauerstoffbad ein möglichst vollkommener Temperaturausgleich zwischen Luft und Sauerstoff stattfindet, so erhalten wir als Höchstausbeute an 99prozentigem Sauerstoff 16,36 vH des Gewichtes bzw. 14,93 vH des Inhaltes.

In der nachfolgenden Zahlentafel 1 sind die berechneten Werte der Zusammensetzung von Flüssigkeit und Dampf, sowie deren Vomhundertgehalte an Stickstoff, ferner die Temperatur und die Heizwärme auf jedem Teller der Säule zusammengestellt. Hieraus ist ersichtlich, daß die Menge des aufsteigenden Dampfes und der herabströmenden Flüssigkeit nahezu unverändert bleibt.

In Abb. 4 sind über gleichbleibenden Tellerabständen von einander und vom Boden die zugehörigen Siedetemperaturen aus Zahlentafel 1 aufgetragen. Die auf diese Weise erhaltene voll ausgezogene Kurve gibt uns den Temperaturverlauf längs der Trennungssäule, und zwar die äußere Begrenzung einer gebrochenen Linie, da sich die Temperatur sprungweise von Tellerboden zu Tellerboden ändert.

In Abb. 4 ist außerdem für die einzelnen Teller der Stickstoffgehalt der Flüssigkeit gestrichelt und des Dampfes punktiert in vH aufgetragen. Von AB aus gemessen ergeben diese Kurven den Sauerstoffgehalt. Sie verlaufen ähnlich wie die Temperaturkurve, was beweist, daß das Gebiet der stärksten Temperaturänderung mit jenem der stärksten Rektifikationswirkung zusammenfällt.

Wir erkennen auch, daß die Kurven einen Wendepunkt haben, und daß die Änderung der Temperatur und der Zusammensetzung auf den untersten und obersten Tellern langsam vor sich geht. Die wirksamste Rektifikation liegt im Bereich der Wendepunkte. Daraus ersehen wir, daß im Sinne einer gleichmäßigeren Temperaturverteilung längs der Trennungssäule die Teller in der Mitte derselben weiter auseinanderzusetzen sind.

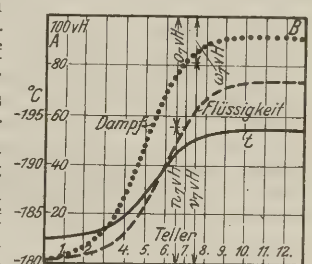


Abb. 4. Siedetemperaturen über gleichbleibenden Tellerabständen voneinander und vom Boden nach Zahlentaf. 1.

An den Kurvenenden ändert sich die Temperatur und die Zusammensetzung von Flüssigkeit und Dampf mit wachsender Tellerzahl nur sehr unwesentlich, so daß sich bereits für ganz geringe Steigerungen in der Reinheit des Sauerstoffes die Zahl der Teller erheblich ändert. Mit andern Worten: der Reinheitsgrad des Sauerstoffes ist mit Bezug auf die hierfür erforderliche Tellerzahl nicht sehr empfindlich. Es ist die Hauptsache, daß die untere Grenze der nötigen Tellerzahl nicht überschritten wird.

In Abb. 5 sind die Kurven der Dampf- bzw. Flüssigkeitssummen als Gerade parallel zur Abszissenachse gezeichnet, indem die geringen Schwankungen dieser Werte, die sich aus Zahlentafel 1 ergeben, vernachlässigt sind.

Sowohl aus der Zahlentafel 1 als auch aus Abb. 4 und 5 ersehen wir, daß zur Erzielung der Höchstausbeute an Sauerstoff mit genügender Genauigkeit die Tellerzahl $n = 12$ gesetzt werden kann, da sich bei einer weiteren Vermehrung der Teller die Zusammensetzung von Dampf und Flüssigkeit nur noch unmerklich ändert.

Zum Vergleich mit Zahlentafel 1 sind in der nachfolgenden Zahlentafel 2 die nach dem unter III angegebenen Berechnungsverfahren ermittelten Werte der Zusammensetzung von Flüssigkeit und Dampf, sowie ihr Stickstoffgehalt in vH und die Temperatur auf jedem Teller der Säule zusammengestellt.

Der Vergleich von Zahlentafel 2 und 1 ergibt, daß die Temperaturverteilung, ausgenommen t_6, das in den beiden Zahlentafeln um einen halben Grad verschieden ist, die gleiche geblieben ist, und daß die Zusammensetzung von Flüssigkeit und Dampf für die einzelnen Teller nur unwesentlich verschieden ist. Es ändert sich daher auch der Verlauf der Temperaturkurve und jener der Stickstoffgehaltkurven in Abb. 4 nur unmerklich. Das Gleiche gilt für die Stickstoffkurven in Abb. 5.

Zur Ermittlung von t_x aus Gl. (46) bedienen wir uns der Versuchsergebnisse von Witkowski über den Zusammenhang zwischen der spezifischen Wärme bei gleichbleibendem Druck und

Zahlentafel 1.

Teller	Zusammensetzung des Dampfes	hiervon Stickstoff vH	Zusammensetzung der Flüssigkeit	hiervon Stickstoff vH	Temperatur °C	Heizwärme kcal/h
Boden	$\omega_0 + \nu_0 = 67{,}95 + 0{,}69 = 68{,}64$	$\nu_0 = 1$			$-182{,}3$	$C_0 = 3475{,}43$
1	$\omega_1 + \nu_1 = 67 + 1{,}81 = 68{,}81$	$\nu_1 = 2{,}63$	$o_1 + n_1 = 84{,}15 + 0{,}85 = 85$	$n_1 = 1$	$-182{,}4$	$C_1 = 3475{,}43 + 1{,}51 - 2{,}97 = 3473{,}97$
2	$\omega_2 + \nu_2 = 64{,}22 + 4{,}07 = 68{,}29$	$\nu_2 = 6$	$o_2 + n_2 = 83{,}2 + 1{,}97 = 85{,}17$	$n_2 = 2{,}26$	$-182{,}5$	$C_2 = 3473{,}97 + 1{,}52 - 29{,}72 = 3445{,}77$
3	$\omega_3 + \nu_3 = 59{,}41 + 9 = 68{,}41$	$\nu_3 = 13{,}15$	$o_3 + n_3 = 80{,}42 + 4{,}23 = 84{,}65$	$n_3 = 5$	$-183{,}5$	$C_3 = 3445{,}77 + 15{,}15 - 30{,}18 = 3430{,}74$
4	$\omega_4 + \nu_4 = 49{,}73 + 18{,}39 = 68{,}12$	$\nu_4 = 27$	$o_4 + n_4 = 75{,}61 + 9{,}16 = 84{,}77$	$n_4 = 10{,}9$	$-184{,}5$	$C_4 = 3430{,}74 + 15{,}32 - 77{,}14 = 3368{,}92$
5	$\omega_5 + \nu_5 = 35{,}86 + 32{,}45 = 68{,}31$	$\nu_5 = 47{,}85$	$o_5 + n_5 = 65{,}93 + 18{,}55 = 84{,}48$	$n_5 = 22$	-187	$C_5 = 3368{,}92 + 38{,}85 - 80{,}22 = 3327{,}55$
6	$\omega_6 + \nu_6 = 21{,}86 + 46{,}52 = 68{,}38$	$\nu_6 = 68$	$o_6 + n_6 = 52{,}06 + 32{,}61 = 84{,}67$	$n_6 = 38{,}4$	$-189{,}5$	$C_6 = 3327{,}55 + 40 - 83{,}2 = 3284{,}35$
7	$\omega_7 + \nu_7 = 12{,}87 + 55{,}94 = 68{,}81$	$\nu_7 = 81{,}33$	$o_7 + n_7 = 38{,}06 + 46{,}68 = 84{,}74$	$n_7 = 55$	-192	$C_7 = 3284{,}35 + 41{,}1 - 34{,}21 = 3291{,}24$
8	$\omega_8 + \nu_8 = 8{,}58 + 60{,}39 = 68{,}97$	$\nu_8 = 87{,}6$	$o_8 + n_8 = 29{,}07 + 56{,}1 = 85{,}17$	$n_8 = 66$	-193	$C_8 = 3291{,}24 + 16{,}82 - 17{,}32 = 3290{,}74$
9	$\omega_9 + \nu_9 = 6{,}9 + 62{,}16 = 69{,}06$	$\nu_9 = 90$	$o_9 + n_9 = 24{,}78 + 60{,}55 = 85{,}33$	$n_9 = 71$	$-193{,}4$	$C_9 = 3290{,}74 + 6{,}79 - 3{,}48 = 3294{,}05$
10	$\omega_{10} + \nu_{10} = 6{,}22 + 62{,}85 = 69{,}07$	$\nu_{10} = 91$	$o_{10} + n_{10} = 23{,}1 + 62{,}32 = 85{,}42$	$n_{10} = 73$	$-193{,}5$	$C_{10} = 3294{,}05 + 1{,}71 - 3{,}49 = 3292{,}27$
11	$\omega_{11} + \nu_{11} = 6 + 63{,}17 = 69{,}17$	$\nu_{11} = 91{,}32$	$o_{11} + n_{11} = 22{,}42 + 63{,}01 = 85{,}43$	$n_{11} = 73{,}75$	$-193{,}6$	$C_{11} = 3292{,}27 + 1{,}71 - 0 = 3293{,}98$
12	$\omega_{12} + \nu_{12} = 5{,}94 + 63{,}24 = 69{,}18$	$\nu_{12} = 91{,}41$	$o_{12} + n_{12} = 22{,}2 + 63{,}33 = 85{,}53$	$n_{12} = 74{,}01$	$-193{,}6$	$C_{12} = 3293{,}98$
13			$o_{13} + n_{13} = 22{,}14 + 63{,}4 = 85{,}54$	$n_{13} = 74{,}13$	$-193{,}6$	

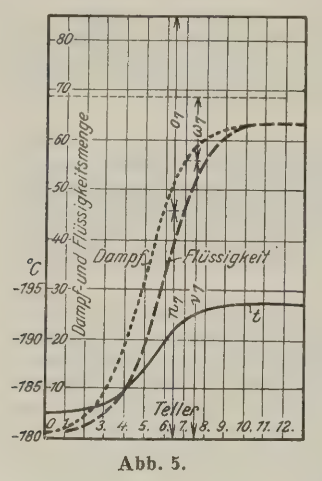


Abb. 5.

Zahlentafel 2.

Teller	Zusammensetzung des Dampfes	hiervon Stickstoff vH	der Flüssigkeit	hiervon Stickstoff vH	Temperatur °C
Boden	$\omega_0 + \nu_0 = 67{,}95 + 0{,}69 = 68{,}64$	$\nu_0 = 1$			$-182{,}3$
1	$\omega_1 + \nu_1 = 66{,}84 + 1{,}8 = 68{,}64$	$\nu_1 = 2{,}63$	$o_1 + n_1 = 84{,}15 + 0{,}85 = 85$	$n_1 = 1$	$-182{,}4$
2	$\omega_2 + \nu_2 = 64{,}52 + 4{,}14 = 68{,}64$	$\nu_2 = 6$	$o_2 + n_2 = 83{,}04 + 1{,}96 = 85$	$n_2 = 2{,}26$	$-182{,}5$
3	$\omega_3 + \nu_3 = 59{,}61 + 9{,}03 = 68{,}64$	$\nu_3 = 13{,}15$	$o_3 + n_3 = 80{,}72 + 4{,}28 = 85$	$n_3 = 5$	$-183{,}5$
4	$\omega_4 + \nu_4 = 50{,}11 + 18{,}53 = 68{,}64$	$\nu_4 = 27$	$o_4 + n_4 = 75{,}81 + 9{,}19 = 85$	$n_4 = 10{,}9$	$-184{,}5$
5	$\omega_5 + \nu_5 = 35{,}8 + 32{,}84 = 68{,}64$	$\nu_5 = 47{,}85$	$o_5 + n_5 = 66{,}31 + 18{,}69 = 85$	$n_5 = 22$	-187
6	$\omega_6 + \nu_6 = 21{,}55 + 47{,}09 = 68{,}64$	$\nu_6 = 68{,}6$	$o_6 + n_6 = 52 + 33 = 85$	$n_6 = 39$	-190
7	$\omega_7 + \nu_7 = 12{,}36 + 56{,}28 = 68{,}64$	$\nu_7 = 82$	$o_7 + n_7 = 37{,}75 + 47{,}25 = 85$	$n_7 = 56$	-192
8	$\omega_8 + \nu_8 = 8{,}24 + 60{,}4 = 68{,}64$	$\nu_8 = 88$	$o_8 + n_8 = 28{,}56 + 56{,}44 = 85$	$n_8 = 66{,}65$	-193
9	$\omega_9 + \nu_9 = 6{,}86 + 61{,}78 = 68{,}64$	$\nu_9 = 90$	$o_9 + n_9 = 24{,}44 + 60{,}56 = 85$	$n_9 = 71$	$-193{,}4$
10	$\omega_{10} + \nu_{10} = 6{,}18 + 62{,}46 = 68.64$	$\nu_{10} = 91$	$o_{10} + n_{10} = 23{,}06 + 61{,}94 = 85$	$n_{10} = 73$	$-193{,}5$
11	$\omega_{11} + \nu_{11} = 5{,}99 + 62{,}65 = 68{,}64$	$\nu_{11} = 91{,}28$	$o_{11} + n_{11} = 22{,}38 + 62{,}62 = 85$	$n_{11} = 73{,}67$	$-193{,}6$
12	$\omega_{12} + \nu_{12} = 5{,}94 + 62{,}7 = 68{,}64$	$\nu_{12} = 91{,}36$	$o_{12} + n_{12} = 22{,}19 + 62{,}81 = 85$	$n_{12} = 73{,}89$	$-193{,}6$
13			$o_{13} + n_{13} = 22{,}14 + 62{,}86 = 85$	$n_{13} = 73{,}95$	$-193{,}6$

der Temperatur sowie dem Druck, die in einem c_p, t-Diagramm, Abb. 6, durch die Isobaren von 10 bis 70 at wiedergegeben sind[1]).

Der Betriebsdruck eines Trennungsapparates liegt gewöhnlich zwischen 50 und 70 at. Wir nehmen ihn mit 60 at an. Um die Temperatur t_x zu bestimmen, wählen wir c_{p_1} so, daß der sich aus Gl. (47) ergebende Wert für c_{p_1} mit dem sich aus der Isobare für 60 at nach Witkowski ergebenden Wert übereinstimmt. Wir finden auf diese Weise durch Versuchen, indem wir $t_1 = 20\,^0$C und $t_1' = t_1'' = 10\,^0$C setzen,

$$t_x = -129\,^0\text{C}.$$

Bei einem Druck von 60 at liegen zwischen den in Frage kommenden Temperaturen von $-129\,°$C und $-180\,°$C keine Versuchswerte für die Ermittlung des Wertes von c_{p_2} vor. Dieser ergibt sich aus Gl. (53) zu 0,682 mittels des Wertes von C_0 nach Gl. (8). wobei ω_0 und ν_0 aus Gl. (34) zu berechnen sind.

Erfahrungsgemäß stellt sich das Wärmegleichgewicht eines Trennungsapparates nicht bei einem einzigen bestimmten Druck der verdichteten Luft, sondern innerhalb eines bestimmten Druckbereichs ein. Eine daraus folgende rechnerische Überlegung läßt es wahrscheinlich erscheinen, daß die Luftisobaren im c_p, t-Diagramm oberhalb des kritischen Druckes vor Erreichen der kritischen Temperatur ebenso wie die Kohlensäureisobaren[2]) Höchstwerte aufweisen.

[1]) Vergl. Witkowski, Über die thermodynamischen Eigenschaften der Luft, Anzeiger der Wissenschaften in Krakau 1895 und Philosophical Magazine Bd. 42 (1896).

[2]) Vergl. V. Fischer, Eine Bestimmung der spezifischen Wärme bei gleichbleibendem Druck für den flüssigen und gasförmigen Zustand eines Stoffes, Zeitschr. für techn. Physik Bd. 4 (1923).

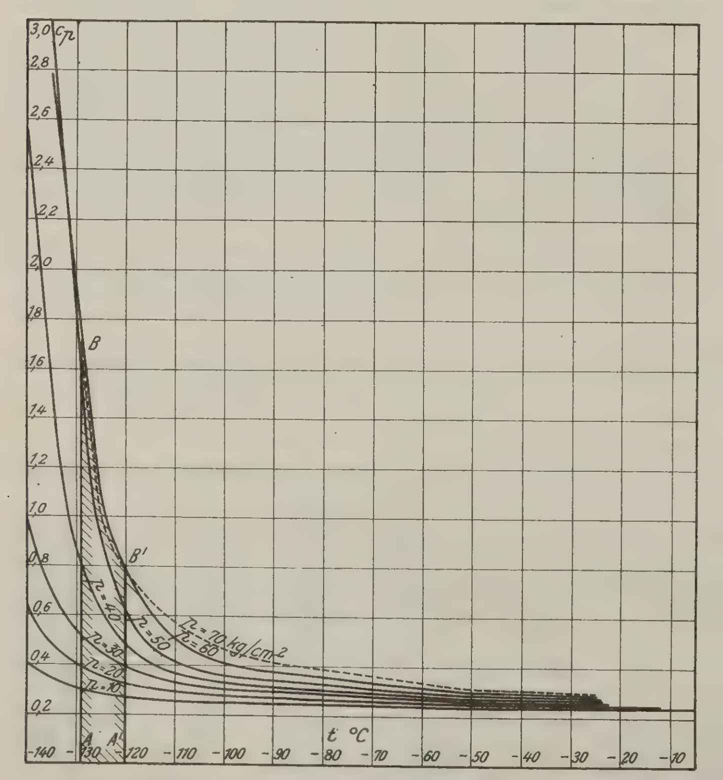


Abb. 6. Darstellung der Verdampfungswärme.

Es besteht auch die Möglichkeit, mit dem Betriebsdruck unter den kritischen Druck zu gehen. Es ist zwar in der Fortsetzung der Isobaren über das Erfahrungsgebiet hinaus bis zur Grenzkurve in diesem Falle das Auftreten von Höchstwerten nicht zu erwarten, doch tritt jetzt ein Ausgleich durch die bei der Verflüssigung der Luft frei werdende Verdampfungswärme r ein, siehe Gl. (56). Der kleinstmögliche Betriebsdruck ist aber, wie wir sehen werden, von andern Umständen abhängig.

Wird der Sauerstoff dampfförmig aus dem Sauerstoffbad abgezogen, so gilt folgendes:

Die Fläche des umränderten Viereckes $ABB'A'$ in Abb. 6 gibt den Wert der Verdampfungswärme C des gewonnenen Sauerstoffes nach Gl. (23) an. Punkt A entspricht der Temperatur t_x, mit der die Luft in die Heizschlange eintritt, wenn der Sauerstoff flüssig aus dem Sauerstoffbad abgezogen wird, mithin bestimmt der Punkt A' die Temperatur t_x, wenn der Sauerstoff dampfförmig aus dem Sauerstoffbad abgezogen wird. t_x ist im vorliegenden Falle $-120\,°$C.

Die gesamte je Stunde dem abziehenden Sauerstoff und Stickstoff im Apparat zugeführte Wärme berechnet sich aus Gl. (71) zu

$$Q' = 9929{,}79 \text{ kcal/h}.$$

IX. Allgemeine Bemerkungen.

Bei den üblichen Bauarten der Trennungssäulen fehlt die Scheidung des Flüssigkeits- und Dampfweges, wie sie in Abb. 2 dargestellt ist. Es wird entweder eine große Anzahl gelochter Böden oder Blechringe u. dergl. verwandt, durch die bewirkt wird, daß sich die herabströmende Flüssigkeit und der hochsteigende Dampf in feiner Verteilung durchdringen. Der Vorgang, der sich hierbei abspielt, kann aber nur demjenigen entsprechen, den wir durch den vorhergehenden Rechnungsgang zahlenmäßig dargestellt haben. Es werden sich in einzelnen Querschnitten der Trennungssäule, gleichgültig wie sie ausgebildet ist, Gleichgewichtszustände einstellen, deren Anzahl gleich derjenigen der nach Abb. 2 berechneten Teller ist. Die Temperaturverteilung und die Änderung der Zusammensetzung von Flüssigkeit und Dampf entlang der Trennungssäule wird die gleiche bleiben, wie zuvor berechnet.

Vielfach erreichen die Trennungsapparate die mögliche Höchstausbeute nicht, sondern es werden aus 100 m³ angesaugter Luft nur 11 bis 12 m³ Sauerstoff gewonnen. Die Gründe für diese Minderleistung können verschiedener Art sein:

Es ist möglich, daß die Unterkühlung der verflüssigten Luft im Sauerstoffbad unvollständig ist. Je größer aber der Temperaturunterschied der Luft vor und nach der Entspannung ist, desto mehr Flüssigkeit verdampft infolge der Entspannung, wie man aus Gl. (66) erkennt, und desto stärker ist die vom Entspannungsventil auf den obersten Teller der Trennungssäule abströmende Flüssigkeit mit Sauerstoff angereichert. Dadurch wird der von diesem Teller in den Gegenstromkühler entweichende Dampf mehr Sauerstoff enthalten und die Ausbeute an diesem wird geringer.

Es kann auch sein, daß die Gl. (25) nicht erfüllt ist. Wenn an ihre Stelle die Beziehung

$$F_n > F_{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (77),$$

tritt, so wird ebenfalls die Flüssigkeit auf dem obersten Teller der Trennungssäule sauerstoffreicher sein, als die vom Entspannungsventil abfließende, und die Sauerstoffausbeute wird vermindert. Der Grund für die Beziehung (77) kann sein, daß der Abstand des obersten Tellers vom Entspannungsventil bzw. von der Ausströmöffnung für die entspannte flüssige Luft zu

groß ist. Zeichnen wir uns für einen solchen Fall die Kurven der Temperaturverteilung und der Dampf- bzw. Flüssigkeitszusammensetzung auf, so sehen wir, daß der Verlauf dieser Kurven gegen die obersten Teller der Trennungssäule nicht wie in Abb. 4 und 5 asymptotisch zu einer Geraden parallel zur Abszisse ist. Die Rektifikation ist also in diesem Fall mit Bezug auf die obersten Teller unvollständig geblieben.

Schließlich ist es auch möglich, daß der in den Gegenstromkühler abziehende Dampf naß ist. Dadurch erfolgt ebenfalls eine Anreicherung desselben mit Sauerstoff und eine Verminderung der Ausbeute. Bezeichnen wir die mit dem Dampf vom obersten Teller der Trennnngssäule entweichende Flüssigkeit mit $n'_n + \sigma'_n$, so ergibt eine einfache Rechnung, daß an Stelle von (30) die Gleichung

$$n = (n_{n+1} - n'_n)\frac{F_n - f_n}{f_0 - f_n} \quad \ldots\ldots\ldots (78)$$

tritt. Gl. (78) läßt erkennen, wie die Höchstausbeute mit der Dampfnässe abnimmt. Z. B. vermindert sich die Höchstausbeute bei einer Dampfnässe von 5 vH um rd. 1 vH des Gewichtes der angesaugten Luftmenge gegenüber der Höchstausbeute bei trockenem Dampf.

Es sei noch bemerkt, daß auch konstruktive Fehler beim Bau der Trennungsapparate zu einer Minderleistung führen können. Der in vielen Fällen zutreffende Grund für die zu geringe Leistung der Trennungsapparate dürfte in einer ungenügenden Unterkühlung der flüssigen Luft vor ihrem Eintritt in das Entspannungsventil liegen.

Wollen wir die Verluste, die infolge der Verdampfung eines Teiles der flüssigen Luft während der Entspannung eintreten, nahe an null bringen, so muß, wie wir aus Gl. (66) erkennen, die Temperatur der Luft vor der Entspannung ungefähr gleich derjenigen nach der Entspannung sein. Im Sauerstoffbad läßt sich als tiefste Temperatur nur diejenige des flüssigen Sauerstoffes erreichen. Um die Luft noch weiter zu kühlen, müssen wir sie daher im Gegenstrom zu der über die Trennungssäule herabrieselnden Flüssigkeit in entsprechenden Windungen hochführen, so daß die unter Druck befindliche Luft, vor das Entspannungsventil gelangt, bei möglichst vollständigem Temperaturausgleich nahezu die gleiche Temperatur erlangt wie die entspannte Luft. Es findet dann eine zusätzliche Wärmezufuhr auf den einzelnen Tellern statt. Die Berechnung gestaltet sich ähnlich wie in dem vorher durchgerechneten Fall. (Schluß folgt.)

Wege zur Verbesserung der Druckluftwirtschaft auf Bergwerken.

Von Heinrich Reiser, Oberingenieur, Gelsenkirchen.

Nach einleitenden Ausführungen über die in der Druckluftwirtschaft bisher erreichten Erfolge werden einige Wege zur Erlangung von Ersparnissen angegeben und ihre Wirtschaftlichkeit nachgewiesen.

Auf allen Gebieten des Maschinenbetriebes in Bergwerken sind in den letzten Jahren Verbesserungen, die die Wirtschaftlichkeit heben sollten, versucht und durchgeführt worden, so auch in der Druckluftwirtschaft. Betrachten wir zunächst die Drucklufterzeuger, so sei u. a. erinnert an nachstehende erfolgreich gewesene Verbesserungen:

a) Die Ausnutzung der Zwischenkühlerwärme im Speisewasser,
b) die Ausrüstung der Gasluftkompressoren[1]) mit Kesseln zur Ausnutzung der Abwärme[2]),
c) die Beschaffung von Impfanlagen zur Sicherung eines guten Vakuums, besonders bei Turbokompressoren,
d) Ersatz der Gehäusekühlung bei Turbokompressoren durch wirksamere Messingrohrkühler,
e) Ausnutzung des im Schacht herabfallenden Wassers für Berieselungs- und Schlämmzwecke in hydraulischen Kompressoren[3]), fast kostenlose Druckluftgewinnung,
f) Schaffung großer Maschineneinheiten und Stillsetzung der kleinen Drucklufterzeuger,
g) Vergrößerung der Zwischenkühlerfläche und Ersatz des teueren Flußwassers durch Rückkühlwasser,
h) Verwendung des heißen Kühlwassers zu Bade- und Heizzwecken, dadurch größerer Wasserwechsel im Kühlturm und Erhaltung reinerer Kühlflächen im Kondensator und Zwischenkühler.

Ebenfalls wurden die zur Fortleitung der Druckluft dienenden Leitungen nach dem Kriege sorgfältiger überwacht und instand gehalten. Überflüssige Leitungen wurden entfernt, enge durch weitere Rohre ersetzt und die im Kriege viel angepriesene Pappdichtung gegen beste Gummi- oder gummiartige Ringe ausgewechselt. Besonders wichtig war es, daß erstklassige Armaturen angeschafft wurden[4]). Regelmäßig wiederkehrende Messungen der Undichtigkeits- und Leerlaufverluste an Sonntagen haben das Gewissen der Grubenbeamten geschärft. Verringerung solcher Verluste von 40 bis 50 vH auf 12 bis 19 vH der Volleistung sind dadurch vielfach möglich gewesen. Zu empfehlen ist, wo irgend möglich, daß die unwirtschaftlichen Druckluftdüsen durch Wasserdüsen ersetzt und für mehr als 50 m Wetterluttenlänge Kolben- oder Kreisellüfter[5]) eingebaut werden.

Bei Bohrhämmern und sonstigen Gesteinbohrmaschinen müssen vor allen Dingen die Instandhaltungsarbeiten planmäßig überwacht und die Gebrauchszeiten eingetragen werden, wie ich es an andrer Stelle schon näher beschrieben habe[6]) und wie in ähnlicher Art bereits eine Reihe von Zechen verfahren. Auch bei Fördermotoren, d. s. in erster Linie Haspeln, Seilbahnmaschinen, Schrämmaschinen, Schüttelrutschantriebe, sind beachtenswerte Verbesserungen auf den Markt gekommen und durch dazu berufene Fachleute geprüft worden. Vor allem hat sich auf diesem Gebiete neben Götze hervorgetan die wirtschaftliche Abteilung des Dampfkessel-Überwachungsvereins der Zechen im Oberbergamtsbezirk Dortmund unter Leitung von Schimpf[7]). Die Haspeln mit einfachen Wechselschiebern, die fast durchweg mit 100 vH Füllung arbeiten, sollten tunlichst bald ganz aus den Betrieben verschwinden. Abgesehen vom elektrischen Antrieb, der leider nur in besonderen Fällen für schwere Betriebe und bei bester Bewetterung verwendet wird, kommt für große Leistungen noch immer ausschließlich der gewöhnliche Zwillingskolbenhaspel mit Kulissensteuerung in Frage. Fast ausnahmslos ist festzustellen, daß die Haspelführer mit größter Füllung fahren und mit dem Fahrventil drosseln. Bei großen Leistungen sollte man Einrichtungen treffen, die den Maschinisten zwingen, mit angemessener Dehnung zu fahren. Z. B. kann man die Rasten an den Endlagen des Steuerhebelbockes fortlassen und nach der Mitte zu versetzen (60 vH Füllung), außerdem entsprechende starke Federn oder Gegengewichte anbringen, die dem Maschinisten, sobald er die gewollte Füllung überschreitet, so unbequem werden, daß er die großen Füllungen nur in Ausnahmefällen beim Anfahren benutzt, um nicht zu stark zu ermüden[8]). Außerdem kann eine festliegende unveränderliche Dehnung dadurch erreicht werden, daß man Vierzylindermotoren in Verbundschaltung anbringt.

Bei durchlaufenden Fördermotoren, d. s. in der Hauptsache Seilbahnmaschinen, Schüttelrutschenmotoren, Schrämmaschinen, ferner bei Sonderlüftern größerer Bauart mit Kolbenmotoren, sind die Mehrzylinderanordnung in Verbundwirkung, ferner auch höhere Kolbengeschwindigkeiten und kleinere Abmessungen mit Zahnradgetriebe in Ölgehäusekästen sehr empfehlenswert. Auch die Mehrzylinderanordnung bei Abteuf-Senk- und Duplexpumpen gehört hierher.

In seinem ausgezeichneten Bericht an den Reichskohlenrat gibt Götze[9]), Bochum, folgende Verbrauchzahlen an:

Kolbenhaspel mit Wechselschiebersteuerung	90 bis	130	m^3/PS_eh
„ „ Kulissensteuerung	65 „	85	„
Axmann-Turbohaspel ohne Dehnung	110 „	120	„
„ „ mit „	60 „	80	„
Schleuderkolbenhaspel der Eisenhütte Westfalia, Lünen a. d. Lippe	50 „	60	„

[1]) s. „Glückauf" Bd. 50 (1914) S. 1717.
[2]) s. „Glückauf" Bd. 57 (1921) S. 317.
[3]) s. „Glückauf" Bd. 57 (1921) Nr. 16.
[4]) s. „Glückauf" Bd. 56 (1920) S. 997.
[5]) Aufsatz von Pocher, „Glückauf" Bd. 58 (1922) S. 76 u. f., Bd. 57 (1921) S. 318.
[6]) s. „Glückauf" Bd. 57 (1921) S. 318.
[7]) s. u. a. „Glückauf" Bd. 57 (1921) Nr. 51 S. 1245 u. f.
[8]) s. Abbildungen in „Glückauf" Bd. 46 (1910) S. 683.
[9]) s. u. a. „Glückauf" Bd. 58 (1922) S. 346 bis 350.

Die Drehkolbenmaschinen ermöglichen eine größere Dehnung als Kolbenkulissenmotoren, weil ihre einfachen Steuerteile ein Festsetzen des im Auspuff sich bildenden Eises nicht so leicht ermöglichen als der bei Kulissenmotoren übliche Muschelschieber. Kolbenschieber mit innerer Einströmung und außen liegender Ausströmung sind aber in vielen Fällen auch bei Schiebermaschinen gegen Eisbildung weniger empfindlich. Gebaut werden sie u. a. von der Maschinenfabrik A. Beien in Herne (Westf.).

Einen Weg zur Verbesserung der Druckluftwirtschaft weisen uns die bekannten Hochdruckluft-Lokomotiven. Die Verbundanordnung der Zylinder mit Zweifach- oder Dreifachdehnwirkung sowie die Zwischenerwärmung der austretenden Druckluft durch die vorbeistreichende, meist warme Grubenluft in Messingrohrbündeln haben dieses Fördermittel erst lebensfähig gemacht. Es ist zu bedauern, daß Verbraucher und Erzeuger diesen Weg für feststehende Druckluftmotoren nicht schon längst beschritten haben, obwohl die Tatsache unbestreitbar ist, daß bei vielen Zechen die Druckluftwirtschaft heute schon 50 bis 55 vH der ganzen Kraftwirtschaft für sich in Anspruch nimmt. Die heutigen wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse fordern aber, daß Druckluftmaschinen in von Tag zu Tag steigendem Maße verwendet werden. Ein einfacher Wassermantel um den Arbeitszylinder kann die Eisbildung bei nicht zu weit getriebener Dehnung verhindern und nicht unerhebliche Luftersparnisse bringen.

Schimpf konnte auf Grund ausgeführter Versuche[1]) berichten, daß infolge Vereisung am Auspuff der Luftverbrauch stellenweise um 25 vH stieg und daß durch Anwärmen des Mantels 18 vH Druckluft gespart werden können.

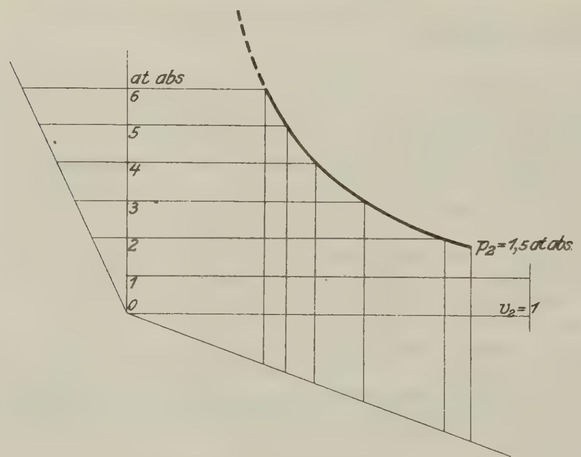


Abb. 1. Polytropische Kurve.

Anzustreben ist möglichst weitgehende Ausnutzung der Dehnungsenergie der Druckluft wie bei Dampfmaschinen mit 28 bis 30 vH Füllung. Hierzu reichen aber die oben kurz beschriebenen Verbesserungen nicht aus, denn bei Aufpufftemperatur unter — 5° C findet ein Zufrieren unweigerlich statt. Das Einfrieren wird in der Hauptsache verursacht durch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Deshalb schon sollte die Druckluft möglichst kalt erzeugt und möglichst warm verwendet werden. Selbstverständlich ist auf den Einbau recht vieler Stoßwindkessel und Wasserabscheider im Leitungsnetz allergrößter Wert zu legen.

Auf zwei Wegen kann die Druckluftdehnung möglichst groß gehalten werden. Zunächst kann man die Anfangtemperatur der Druckluft durch Erhitzen so hoch legen, daß die Endtemperatur niemals unter — 5 °C kommen kann. Die Fortleitung der Heißluft bietet jedoch noch große Schwierigkeiten, weil alle Rohrleitungen dann isoliert sein müßten. Nach vorgenommenen Versuchen kann man den Koeffizienten der polytropischen Dehnung für Druckluft mit 1,25 annehmen. Diese polytropische Kurve ist in Abb. 1 dargestellt. Es besteht die Gleichung:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right) \frac{n-1}{n}$$

Hierin bedeutet:

T_1 = Anfangtemperatur,
T_2 = Endtemperatur = 273 — 5 = 268 ° abs,
p_1 = Anfangdruck = in der Regel 6,0 at abs,
p_2 = Enddruck = rd. 1,5 at abs.

Hieraus errechnet sich die notwendige Anfangtemperatur zu

$$T_1 = \left(\frac{6}{1,5}\right)^{0,2} \cdot 268 = 354,$$

$t_1 = 354 - 273 = 81$ °C an der Arbeitstelle zuzüglich der Abkühlverluste in Zylinder und Rohrleitungen.

Zur Wiedererwärmung der auf dem Wege von der Druckluftzentrale über Tage bis zur Verbrauchsstelle abgekühlten Druckluft kann man in der Nähe der Arbeitstelle einstufige Kleinkompressoren, die Luft von atmosphärischer Spannung auf 4 bis 4,5 at Überdruck bei 140 °C drücken, aufstellen und diese Heißluft mit der Luft des Leitungsnetzes vermischen. Zum Antrieb würden meist Elektromotoren dienen können. Es ist mir nicht bekannt, ob dieses Verfahren schon auf einer Zeche Eingang gefunden hat. Auf den großen Nutzen der Überhitzung von Druckluft wurde auch schon vor dem Krieg hingewiesen[2]).

Ein weiteres Mittel, Vereisungen im Druckluftmotor bei Arbeiten mit Dehnung zu vermeiden, gibt A. Hinz[3]) an:

Die Frankfurter Maschinenbau-A.-G. vorm. Pokorny & Wittekind stellt einen neuartigen Druckluftmtor her, bei dem ähnlich wie bei Zweitaktmaschinen der Auspuff vom Arbeitskolben durch an der Zylinderwandung angebrachte Schlitze gesteuert werden soll. Während bei Motoren gewöhnlicher Bauart die eintretende Druckluft von Raumtemperatur, rd. 20 °C, an dem kurz vorher durch die sehr kalte Auspuffluft auf unter 0 °C abgekühlten Schieberkasten wieder vorbeistreichen muß, entweicht bei dem neuen Motor die Auspuffluft auf der dem Eintritt entgegengesetzten Seite, und zwar, was von entschiedener Bedeutung ist, indem sie einen entsprechend großen Luftrest zurückläßt, der durch den zurücklaufenden Kolben verdichtet und wieder erhitzt wird. Die Arbeitsluft wird also hier im Druckluftmotor selbst, durch Mischung mit der Restluft, vorgewärmt.

Ich habe schon an andrer Stelle[4]) angegeben, daß es auch bei Maschinen gewöhnlicher Bauart durchaus möglich ist, mit erheblicher Dehnung zu arbeiten, wenn man durch Anbau eines Verdichtungszylinders die Arbeitsluft vorwärmt. Auf einer Zeche des Gelsenkirchener Bezirkes wurde versuchsweise eine Seilbahnmaschine, Bauart der Maschinenfabrik A. Beien, Herne, mit 2 Zylindern von 250 mm Dmr. bei 350 mm Hub, die vorher wegen der störenden Eisbildung fast mit Vollfüllung arbeiten mußte, mit Dehnungs-Doppelschiebersteuerung ausgerüstet und hinten ein Verdichtungszylinder von 175 mm Dmr. angebaut, der atmosphärische Luft ansog und auf die vor Ort gebräuchliche Spannung von 4 bis 4,5 at drückte.

Die Maschine hatte nach vorgenommenen eingehenden Messungen ohne Einbau des Verdichtungszylinders bei 10 PS_e Leistung einen Druckluftverbrauch von 100 m^3/PS_eh und bei Vollleistung, d. s. rd. 15 PS_e, einen solchen von 68,4 m^3/PS_eh; diese Werte stimmen mit den veröffentlichten Zahlen gut überein[5]). Mit Verdichtungszylindern wurden die gleichen Leistungen mit 30 vH bzw. 47 vH Füllung erreicht; hierbei war der Luftverbrauch

bei 10 PS_e = 61 m^3/PS_eh,
bei 15 PS_e = 50,4 m^3/PS_eh.

Die Ersparnis an Druckluft betrug somit bei ⅔ Leistung rd. 39 vH und bei Volleistung rd. 26 vH. Die Eintrittspannung betrug hierbei 3,5 bis 4 at und die Eintrittluft-Temperatur 35 bis 45 °C.

Nicht unerwähnt sei, daß es sich hierbei um die allererste Ausführung handelte und daß man unter Änderung der Zylinderverhältnisse sowie durch Ausnutzung der Heißluft für das Vorwärmen der Arbeitszylinderwände noch wesentlich bessere Ergebnisse erwarten kann. Diese Anordnung läßt sich bei allen durchlaufenden Motoren, in der Hauptsache bei Seilbahnmaschinen, Sonderlüftern, Duplexhängepumpen, anwenden.

Oben wurde bereits erläutert, daß man heute lediglich deshalb mit großen, meist vollen Füllungen arbeiten muß, um Eisbildung bzw. Temperatursturz im Arbeitszylinder zu vermeiden. Nun ist aber bekannt, daß sich die die Luft bildenden Grundstoffe, Sauerstoff und Stickstoff, nur unter sehr hohen Drücken und bei sehr großer Kälte verflüssigen und es daher nicht möglich erscheint, diese Grundstoffe im Druckluftbetrieb zu vereisen. Die kritische Temperatur des Sauerstoffes beträgt — 113°, und zwar bei einem Druck von 50 at. Bei Stickstoff beträgt sie — 146 ° bei 32,5 at, also Werte, die hier gar nicht in Frage kommen können.

[1]) s. „Glückauf“ Bd. 57 (1921) Nr. 51 S. 1239 u.

[2]) s. a. „Glückauf“ Bd. 46 (1910) S. 679/685, Bd. 47 (1911) Nr. 3 S. 106/107.

[3]) u. a. „Glückauf“ 1922, Nr. 20 S. 588.

[4]) „Glückauf“ Bd. 57 (1921) Nr. 14 S. 320.

[5]) Nach Schimpf „Glückauf“ Bd. 57 (1921) S. 836 und 1248 belief sich der Verbrauch älterer Maschinen bei 4 bis 5 at auf rd. 60 bis 70 m^3/PS_eh.

Der Wassergehalt der gesättigten Luft ergibt sich aus nachstehender Zahlentafel:

Temperatur °C	Wassergehalt der gesättigten Luft g/m³	Temperatur °C	Wassergehalt der gesättigten Luft g/m³
— 20	1,060	+ 25	22,87
— 10	2,303	+ 30	30,130
— 2	4,209	+ 40	50,766
0	4,876	+ 50	82,404
+ 10	9,372	+ 60	129,292
+ 20	17,177		

Die Zahlenwerte sind in Abb. 2 bildlich dargestellt. Aus ihnen geht deutlich hervor, wie wichtig es ist, die Druckluft möglichst kalt anzusaugen.

Bringt man demnach die anzusaugende oder die verdichtete Druckluft auf etwa — 20 °C, so fällt der Wassergehalt bis auf einen winzigen Rest heraus, und die Vereisungsgefahr ist vorbei. Wenn es demnach gelingt, die Nässe aus der Druckluft zu entfernen, ist es ohne weiteres möglich, die Druckluftenergie bis nahe zur Grenze des Möglichen auszunutzen. Was wird hierdurch gespart?

Der Kürze halber entnehme ich nachstehende Zahlentafel im Auszuge dem Aufsatze von Hinz[1]):

Zylinderfüllung	70 vH				40 vH				32 vH	28 vH	25 vH	23 vH
Luftüberdruck . . . at	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
Mech. Wirkungsgrad . . . . . . vH	67	68	69	70	66	67	68	69	66	67	68	69
Luftverbrauch bei 15 vH Lässigkeitsverlusten . . . m³/PSₑh	53	51	48	46	45	41	39	37	44	40	38	36
Gesamter isoth. Wirkungsgrad . . . vH	32	30	29	28	37	37	36	35	38	38	37	36

Bei 6 bis 7 at Ü. Druckluftspannung in der Zentrale entsprechend etwa 5 bis 6 at Ü. vor Ort, ist es, wie aus vorstehender Zahlentafel hervorgeht, ohne weiteres möglich, die Füllung bis auf 25 bis 30 vH herabzusetzen, wenn die Gefahr des Einfrierens beseitigt sein würde. Selbstverständlich kommen hier in erster Linie die durchlaufenden Maschinen in Frage, jedoch ist es dann bei allen Maschinen möglich, mit Verbund- bzw. Zwillingsverbundwirkung der Zylinder zu arbeiten, so daß auch bei Haspeln eine Dehnung erzwungen wird, die abhängig ist von dem Zylinderverhältnis. Daß Motoren für Sonderlüftung schon vor dem Kriege mit Verbundzylindern gebaut worden sind, dürfte bekannt sein. Damit werden die Hinzschen Zahlen noch wesentlich unterschritten.

Die **Drucklufttrocknung** mittels des Gefrierverfahrens ist neuerdings bei der **Deutschen Maschinenfabrik** in Duisburg in Ausführung begriffen.

Die Anlage, Abb. 3, besteht im wesentlichen aus drei Gruppen von Maschinen und Geräten:

[1]) Vergl. Glückauf 1922 Nr. 20 S. 588.

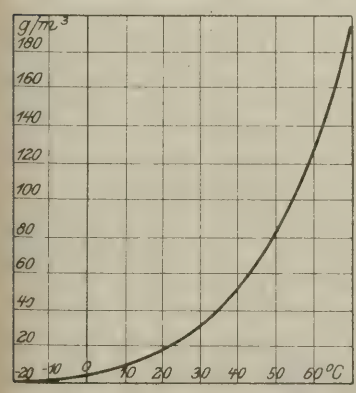


Abb. 2. Wassergehalt der gesättigten Luft.

1. dem Turbokompressor *b* in bekannter Ausführung,
2. der Kälteanlage, die sich im wesentlichen von ähnlichen Anlagen dieser Art nur durch die verhältnismäßig tiefe Soletemperatur unterscheidet,
3. den verschiedenen Wärmeaustauschgeräten, deren Arbeitsweisen nachstehend noch besprochen werden sollen.

Es muß vorausgeschickt werden, daß die durch Abkühlung der Luft erreichten tiefen Temperaturen (— 20 °C) durch geeignete Vorkehrungen im Zwischenkühler und im Nachkühler wieder verwendet werden müssen und daß daher in diesen Apparaten mit tieferen Lufttemperaturen gerechnet werden kann als bisher.

Die **Luft**, die vom Turbokompressor angesaugt wird, sei mit Wasserdampf gesättigt; sie strömt durch den Kompressor *b* mit Zwischenkühler *c* und Nachkühler *d* wie bisher, verläßt diesen mit einer Temperatur von + 30 °C und wird in einem Wärmeaustauscher *e* durch Berührung mit der ausgefrorenen Luft auf + 0 bis — 5 °C abgekühlt. Sodann gelangt sie abwechselnd in den einen oder anderen der beiden Trockenkühler f_1 und f_2, wo durch Unterkühlung bis auf — 20 °C der Hauptteil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes als Eis niedergeschlagen wird. Nach dem Trockenkühler f_1 bzw. f_2 durchströmt die Luft den oben erwähnten Wärmeaustauscher *e*.

Die günstige Wirkung der starken Abkühlung der Luft im Nachkühler und im Wärmeaustauscher kommt in der Leistung, d. h. im Kraftverbrauch des Ammoniakkompressors, deutlich zum Ausdruck. Nach ungefähr 6 h wird der Trockenkühler durch die ausströmende Luft so weit mit Eis ausgeschlagen sein, daß dem Durchströmen der Druckluft merklicher Widerstand entgegengesetzt wird. Es wird daher notwendig, Druckluft und Sole auf den Trockenkühler f_2 umzuschalten, und zwar wird es vorteilhaft sein, erst die Sole kurze Zeit ohne Druckluft durch die Kühlröhren fließen zu lassen, um das Gerät vor Eintritt der Luft genügend auszukühlen. Nachdem dies geschehen ist, kann auch die Druckluft auf Trockenkühler f_2 geschaltet werden. Dies soll selbsttätig geschehen unter dem Einfluß des Druckverlustes zwischen Ein- und Austritt der Druckluft.

Zum Auftauen des im Trockenkühler f_1 niedergeschlagenen Eises soll das warme Wasser des Ammoniak-Berieselungskondensators verwandt werden, das, anstatt dem Rückkühler zuzufließen, zum Teil durch eine Umlaufleitung *p* von unten in

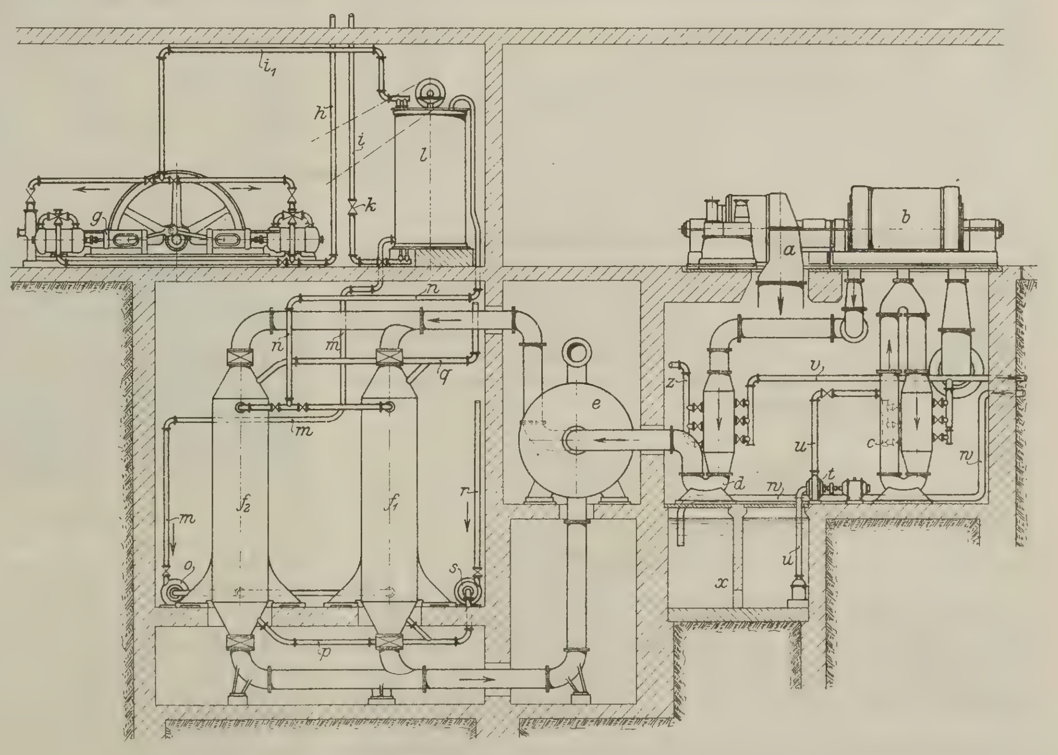


Abb. 3. Entwurf einer Druckluft-Trockenanlage für Grubenbetrieb.

a Dampfturbine
b Turbokompressor
c Zwischenkühler
d Nachkühler
e Wärmeaustauscher
f_1 f_2 Trockenkühler
g NH_3-Kompressor
h Leitung zum NH_3-Kondensator
i Leitung vom NH_3-Kondensator
i_1 Ammoniak-Ansaugeleitung
k Regulierventil
l NH_3-Verdampfer
m Leitung für kalte Sole
n Leitung für warme Sole
o Solepumpe
p Leitung des warmen Auftauwassers von Pumpe *s*
q Leitung des kalten Auftauwassers zum NH_3-Berieselungskondensator
r Leitung des warmen Auftauwassers vom NH_3-Berieselungskondensator
t Umlaufpumpe des Auftauwassers
s Umlaufpumpe zur Kühlung von *c* und *d*
u Kühlleitung zu *c* und *d*
v Warmwasserleitung von *c* und *d* zum Rückkühler
w Kaltwasserleitung vom Rückkühler nach Umlaufbecken *x*
z Leitung für Flußwasser oder vom Berieselungskondensator

den Eis- und Luftraum des Trockenkühlers geleitet wird. Nach dem Auftauen der Trockenkühler f_1 und f_2 durch das Berieselungskondensator-Kühlwasser muß der Luftraum durch einen besonderen Grundablaß entwässert werden. Bei dem darauffolgenden Gefrier-Zeitabschnitt wird durch vorheriges Einleiten der Sole und damit verbundenes Ausfrieren der im Luftraum stagnierenden Feuchtigkeit verhindert, daß beim Wechsel eine kurze Zeit ungetrocknete Luft nach den Druckluftverbrauchern gelangt. Der übrige Teil der Anlage, Ammoniakkompressor g, Berieselungskondensator und Ammoniakverdampfer l, gehört zu den für ähnliche Zwecke üblichen Ausführungen, so daß sie nicht näher beschrieben zu werden brauchen.

Nach Einführung des Gefrierverfahrens steigen die Betriebkosten der Kompressorzentrale je m^3 Luft um rd. 10 vH. Die Bedienungskosten dürften kaum größer werden.

Der Kraftbedarf beläuft sich für eine Zentrale von 25 000 m^3/h Leistung auf rd. 140 PS_e.

Auf einer Schachtanlage sind nachstehende Druckluftverbraucher unter Tage in Betrieb:

1)	90 Haspel mit durchschnittl.	rd. 120 m^3/h Verbr.	=	10 800 m^3/h
2)	10 Duplexpumpen	„ „ 140 „ „	=	1 400 „
3)	40 Schüttelrutschenmotoren	„ 150 „ „	=	6 000 „
4)	20 Sonderlüfter	„ 125 „ „	=	2 500 „
5)	20 Seilbahnhilfsstreckenförderungen	„ 800 „ „	=	16 000 „
6)	7 Schrämmaschinen (nachts)	„ 1000 „ „	=	(7 000 „)
		zusammen im Tagbetrieb		36 700 m^3/h
		davon laufen gleichzeitig aber nur die Hälfte	=	18 350 m^3/h
7)	dazu 100 Bohrhämmer je 60 m^3/h zur Hälfte	. .	=	3 000 „
8)	25 vH Verluste in den Leitungen	. . . .	=	5 340 „
	also durchschnittl. Kompressoren-Ansaugeleistung			26 690 m^3/h

Bei Fortfall der Einfriergefahr lassen sich nach überschläglicher Rechnung ersparen:

bei 1) und 2) etwa durch Anordnung eines Niederdruckzylinders in Verbundwirkung oder bessere Steuerung etwa 20 vH,

bei 3) bis 6) durch bessere Bauart der Steuerung und Vergrößerung der Schwungmassen etwa 40 vH, und zwar von etwa 65 m^3/PS_eh auf etwa 38 m^3/PS_eh bei etwa 5 at Eintrittspannung.

Dann ergibt sich folgende Zusammenstellung:

1)	Verbrauch für Haspel	rd. 8 640 m^3/h
2)	„ „ Hilfspumpen	„ 1 120 „
3)	„ „ Schüttelrutschenmotoren	„ 3 600 „
4)	„ der Sonderlüfter	„ 1 500 „
5)	„ „ Seilbahn-Streckenförderungen .	„ 9 600 „
		24 460 m^3/h

davon sollen wieder nur die Hälfte gleichzeitig laufen, d. s.

	12 230 m^3/h	
dazu	3 000 „	als Verbrauch der Bohrhämmer, die bei trockener Luft aber mehr leisten, und
	3 807 „	als Verluste in den Leitungen (25 vH)

also 19 037 m^3/h Kompressorleistung nach Umbau; demnach Druckluftersparnis $\frac{26\,690 - 19\,037}{26\,690} \cdot 100 = 28{,}7$ vH. 1000 m^3 Druckluft auf 6 bis 7 at zu pressen, kostete auf Vorkriegszeit-Grundlage berechnet rd. 200 ₰. Danach ergibt sich nachstehender Kostenvergleich in Friedensgoldmark:

		ℳ h
Druckluftkosten für 1 h vor dem Umbau	26,69 · 2 =	53,38
„ „ „ nach „ „	19,037 · 2 · 1,1	41,88
	Unterschied also ℳ/h	11,50

Ersparnisse allein im Tagbetrieb bei 4800 Betriebstunden 11,5 · 4800 = 55 200 Goldmark (Friedensgrundlage, Kohlenpreis 13 ℳ/t). Dazu kommen noch die Ersparnisse aus dem Druckluftbetrieb der Nachtschicht und die rechnerisch nicht erfaßbaren Vorteile der Abkühlung der Grubenwetter durch die kühlen Leitungen und die sehr kalt auspuffende Druckluft.

Die Belastung des Kesselbetriebes durch den Leistungsbedarf der Kompressoren macht bei vielen Zechen heute bereits, wie schon erwähnt wurde, 50 bis 55 vH des Gesamtbedarfes aus. Sinkt der Druckluftbedarf um 28 bis 30 vH, so würde auch die Dampfentnahme von 50 vH auf 35 vH sinken und eine ziemlich große Kesselheizfläche als Kraft-Aushilfe oder für andre Zwecke frei werden. Es kommen also zu obigen Ersparnissen noch erhebliche Summen aus dem Kesselbetrieb für Ersparnisse an Bedienungskosten, Ausstrahlungs-, Leitungs- und sonstige Leerlaufverlusten.

Die Ersparnisse sind so außerordentlich hoch, daß sich die Anschaffungskosten in drei Jahren reichlich bezahlt machen. Sie werden noch größer, wenn die Zechen nach und nach, Anwendung des beschriebenen Verfahrens vorausgesetzt, zu größeren Druckluftspannungen übergehen, wie aus der Tabelle von Hinz hervorgeht. Es bleibt dabei unbenommen, nachts und Sonntags mit geringer Druckluftspannung zu arbeiten, wodurch die Undichtigkeitsverluste weiter verringert werden.

Es ist immer wieder darauf hinzuweisen, daß von der aufgewandten Arbeit nur ⅙ bis ⅛ als nutzbare Arbeit wiedergewonnen wird, und daß deshalb Ersparnisse in der Druckluftwirtschaft am wirksamsten an der Wurzel, d. h. bei den Verbrauchern, anzustreben sind. [A 2114]

Künstliche Kühlung von Turbodynamos.

Die Vervollkommnung der Kühlverfahren, insbesondere die Einführung des Kreislaufes der Kühlluft von Turbodynamos macht es erforderlich, die Wärmeberechnung elektrischer Maschinen auf eine wissenschaftlich gesicherte Grundlage zu stellen. Aus den Untersuchungen von Nusselt hat daher R. Pohl[1]) für die Wärmeübergangszahl α in den Kühlkanälen künstlich gekühlter elektrischer Maschinen die folgende Gleichung abgeleitet:

$$\alpha = \delta \frac{\frac{U}{F}}{\left(\frac{U}{F}\right)^{0{,}786}} K_{w,m}\, v^{0{,}786} \text{ Watt m}^{-2}\, {}^\circ\text{C}^{-1},$$

wobei er

$$K_{w,m} = 80 \frac{\lambda_w}{\lambda_m^{0{,}786}} (\gamma_m\, c_p)^{0{,}786}$$

die „Kühlwertigkeit" des Kühlmittels nennt. In dieser Formel sind als Einheiten W, kg, s und m verwendet. δ ist ein mit zunehmender Wandrauhigkeit und Wirbelung nach Versuchen der AEG-Turbinenfabrik von 1 bis 2,1 steigender „Wirbelungsfaktor"; der größte Wert ist z. B. bei der stark wirbelnden Strömung in den Zwischenkühlern von Turbokompressoren beobachtet worden. U bedeutet den Umfang, F die Fläche des Kanalquerschnittes, $\frac{F}{U}$ also den sogenannten hydraulischen Halbmesser des Kanals, λ_m die Wärmeleitfähigkeit des Kühlmittels bei seiner mittleren, λ_w die bei der Wandtemperatur, γ_m das spez. Gewicht, c_p die spez. Wärme, v die Geschwindigkeit des Kühlmittels.

Die rechte Seite der obigen Gleichung drückt durch ihre vier Glieder der Reihe nach den Einfluß der Wirbelung, der Form des Durchflußquerschnittes, der physikalischen Eigenschaften des Kühlmittels und der Strömungsgeschwindigkeit auf die Wärmeübergangszahl α aus. α steigt etwas mit dem Verhältnis $\frac{U}{F}$. Enge Kanäle sind daher unter sonst gleichen Verhältnissen günstiger als weite. Sehr enge Kühlkanäle verbieten sich freilich wegen der größeren Reibung und der höheren Temperatur t_m, die das Kühlmittel annimmt. Die Temperatur beeinflußt die Werte λ und $(\gamma_m \cdot c_p)$, der Druck das spezifische Gewicht, beide somit die Kühlwertigkeit. Pohl macht darauf aufmerksam, daß dieselbe Maschine in der Höhe von Johannisburg (1800 m ü. M.) durch atmosphärische Luft unter gleichen Verhältnissen etwa um 15 vH schlechter gekühlt wird als in einer Tiefebene.

Die Einführung der Rückkühlung für die Kühlluft von Turbodynamos hat die Verwendung andrer Gase als Luft praktisch möglich gemacht. Die Verwendung von Stickstoff z. B., der fast genau die gleiche Kühlwertigkeit hat wie Luft, würde Wicklungsbrände ausschließen, ebenso wie Kohlensäure, deren Kühlwertigkeit um 20 vH höher ist, die aber wegen der größeren Dichte und Zähigkeit zu große Reibungsverluste ergibt. Wasserstoff anderseits mit ganz geringer innerer Reibung und um 50 vH größerer Kühlwertigkeit scheidet wegen der Feuergefährlichkeit aus; aus dem gleichen Grunde wohl auch Methan mit im übrigen vorzüglichen Kühleigenschaften, zu denen auch die gegenüber Luft um 40 vH höhere spez. Wärme der Volumeneinheit gehört. Letztere bestimmt nämlich die Temperaturerhöhung des Gases bei Aufnahme einer bestimmten, durch die Maschinenverluste gegebenen Energiemenge. Durch die Verwendung von Methan als Kühlmittel ließe sich ohne Erhöhung der Wandtemperatur und Kühlmittelmenge gegen Luft um rd. 60 vH mehr Wärme abführen. Auch Ammoniak wäre günstig, kommt aber wegen seiner starken chemischen Wirksamkeit nicht in Frage. Einzig Helium, das in Amerika in erheblichen Mengen gewonnen wird und vermutlich bald nicht mehr zu den teuren Gasen zu rechnen sein wird, scheint praktisch anwendbar zu sein. Es verursacht nur ganz geringe Reibungsverluste und hat eine um 20 vH größere Kühlwertigkeit als Luft. [M 306] M. J.

---

[1]) R. Pohl Archiv für Elektrotechnik Bd. 12 (1923) S. 361.

RUNDSCHAU.

Verbrennungskraftmaschinen.

Doppeltwirkende MAN-Zweitakt-Ölmaschine.

Auf der vorjährigen Dieseltagung[1]) des V. d. I. am 29. Juli 1923 berichtete Prof. Dr. Nägel über die von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G., Werk Augsburg, in Bau genommene doppeltwirkende Zweitakt-Dieselmaschine.

Diese Versuchsmaschine ist inzwischen in Betrieb gekommen und hat von Anfang an einwandfrei gearbeitet und allen Erwartungen entsprochen. Die Abmessungen der Maschine, Abb. 1, sind:

Durchmesser des Arbeitszylinders 800 mm,
Durchmesser der Kolbenstange auf der unteren Zylinderseite 270 mm,
Hub 1050 mm,
gesamte Höhe der Maschine rd. 8,7 m.

Die normale Drehzahl der Maschine beträgt 100 Uml./min und die entsprechende Leistung rd. 1100 PS.

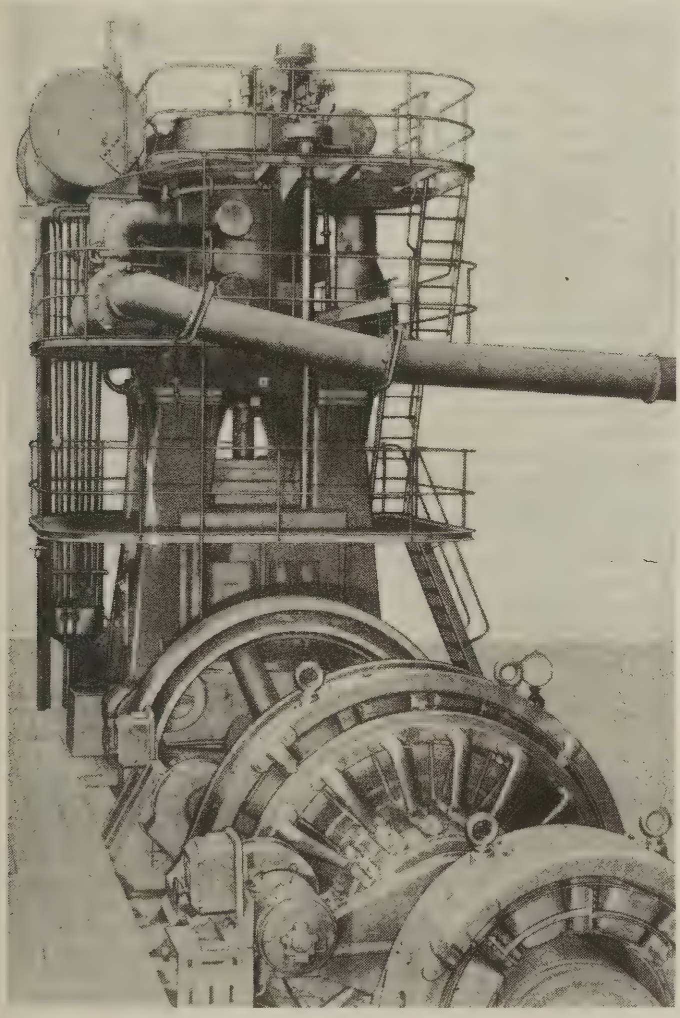


Abb. 1. Doppelt wirkende Zweitakt-Ölmaschine der MAN, 1100 PS_e, 100 Uml./min.

Die Maschine arbeitet nach dem der MAN geschützten Spülverfahren[1]), bei dem der Auslaß der Abgase und der Eintritt der Spülluft durch Schlitze erfolgt, die ohne Verwendung andrer Steuerorgane nur vom Arbeitskolben der Maschine gesteuert werden. Die Spülluft wird bei dem Versuchszylinder durch ein besonderes Kolbengebläse geliefert. Zur Beschaffung der Einblaseluft ist die Maschine mit einer auf dem Bild nicht sichtbaren dreistufigen Luftpumpe gekuppelt.

Als Brennstoffverbrauch des Versuchszylinders wurden bei der angegebenen Belastung rd. 185 g/PS_eh, bezogen auf einen Heizwert von 10 000 kcal/kg, bestimmt. Bei der Bewertung dieser Zahlen ist zu beachten, daß es sich um eine Einzylindermaschine handelt, und daß bei Mehrzylindermaschinen eine weitere Verbesserung zu erwarten ist.

Die Maschine stellt heute das letzte Glied in der Entwicklung der Großölmaschine dar. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß auf dem hier beschrittenen Wege die Weiterentwicklung der Ölmaschine bis zu den größten in Frage kommenden Leistungen offensteht. Wir werden in einem eingehenden Bericht unter Mitteilung von Versuchsergebnissen auf diese Maschine zurückkommen.

[1]) Z. Bd. 67 (1923) S. 733.

Wasserkraftmaschinen.

Die Esibe-Regelung für Wasserturbinen.

Über den Vorschlag von Poebing einer staulosen Turbinenregelung für nicht speicherfähige Anlagen mit höheren Gefällen haben wir an dieser Stelle bereits kurz berichtet[2]). Inzwischen wurden mit dem auf der Nürnberger Wasserkraftausstellung 1922 vorgeführten Modell im Auftrag der Bayerischen Wasserkraft A.-G. im Hydraulischen Institut der Technischen Hochschule München Versuche durchgeführt. Dem in der Zeitschrift „Die Wasserkraft" vom 5. Febr. 1924 veröffentlichten Bericht von D. Thoma sind die nachstehenden wichtigsten Ergebnisse entnommen.

Abb. 2 zeigt schematisch die Versuchsanlage. Sie besteht aus fünf getrennten Turbinen *a* bis *e*. Die vier Turbinen *b* bis *e*, die kleinsten vom staatlichen Hüttenamt Maxhütte gebauten, nicht regelbaren Banki-Turbinen, sind mit je einem Einphasen-Wechselstromerzeuger unmittelbar gekuppelt, die Turbine *a* mit der Erregermaschine

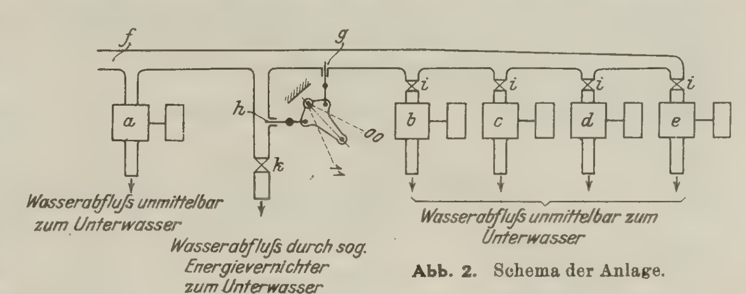


Abb. 2. Schema der Anlage.

für Gleichstrom von 30 V. Von der durch eine Kreiselpumpe gespeisten Wasserzuleitung *f* zweigt zunächst eine Leitung zur Erregerturbine *a* ab, die von Hand geregelt wird. Der Zufluß zu den vier andern Turbinen wird beeinflußt durch die beiden Drosselschieber *g* und *h*, die gleichzeitig verstellt werden. Vor jeder Turbine befindet sich ein Absperrschieber *i*. Aus den Turbinen fließt das Wasser unmittelbar ins Unterwasser. Das durch *h* austretende Wasser kann durch *k* von Hand gedrosselt werden und fließt zum Unterwasser durch einen sogenannten Energievernichter, durch den der Rest der nicht ausgenutzten Energie, soweit sie nicht schon durch *g* und *h* aufgezehrt ist, unschädlich gemacht wird.

Die Erregerturbine *a*, die bei praktischen Ausführungen natürlich aus einer Nutzstrom in gleicher Weise wie die übrigen Turbinen liefernden Maschine besteht, wird am Modell durch Zungenschieber von Hand geregelt. Die vier Grundbelastungsturbinen *b* bis *e* haben weder bewegliche Regelteile, Freilaufventile, Schwungräder noch Einzelregler. Bei Belastungsänderung werden *g* und *h* verstellt und damit die Gesamtwassermenge angenähert gleich gehalten. Je nachdem mehr oder weniger Turbinen durch die Schieber *i* abgesperrt werden, ändert sich die durch *k* regelbare, in den Energievernichter strömende Wassermenge. Bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse ist zu beachten, daß die Anlage für 20 m Gefälle gebaut, jedoch mit 35 bis 40 m Gefälle geprüft wurde. Die Verteilschieber *g* und *h* ergaben deshalb auch in den Endstellungen den übermäßig großen Druckverlust von 6 m W.-S.

Beim Versuch wurden die Verteilschieber *g* und *h* von Hand verstellt und gleichzeitig die Belastung geändert. Abb. 3 zeigt die Leistungen in Watt bei den verschiedenen Stellungen 00 bis 11 der Schieber. Daß die Leistung bei vier Turbinen kleiner ausfiel als bei drei Turbinen, wird dadurch erklärt, daß der Druckverlust im Verteilschieber zu groß war, und daß ferner bei der größeren Wasserführung der Wasserablauf aus den Turbinenhauben zu stark behindert war.

Abb. 3. Leistungen in Watt.

Abb. 4 zeigt den Gesamtwasserverbrauch bezogen auf den Verbrauch bei Vollast. Da einer gegebenen Stellung des Verteilschiebers ein um so kleinerer Druck in der Verteilleitung entspricht, je mehr Turbinen angeschlossen sind, so ist auch die Stellung des Verteilschiebers, in der die Leistung null wird, von der Zahl der angeschlossenen Turbinen abhängig. Die mit einem Kreis bezeichneten Punkte geben

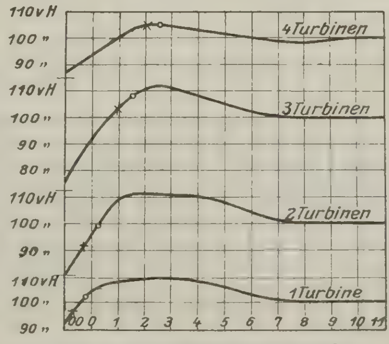


Abb. 4. Gesamtwasserverbrauch.
Abb. 3 und 4. Versuchsergebnisse.

[2]) Z. Bd. 65 (1921) S. 1086.

die Stellungen des Verteilschiebers an, die bei unerregtem Stromerzeuger erreicht werden müssen, um die Leistung auf Null zu bringen. Die mit Kreuzen bezeichneten Hubstellungen wird man bei praktischen Ausführungen mit Rücksicht auf etwaige Abnutzung der Getriebe erreichen müssen, um die Turbinen sicher in der Gewalt zu haben. Nun kann entweder für jede Zahl zugeschalteter Turbinen der Hub des Verteilschiebers verschieden begrenzt werden, was bei selbsttätiger Einstellung durch die Bewegung der Schieber *i* etwas verwickelten Antrieb erfordert, oder es wird die Hubbegrenzung nicht geändert. Bei veränderlicher Hubbegrenzung ergibt sich als ungünstigster Fall, daß zwei Turbinen laufen, wobei die Gesamtwassermenge sich in den Grenzen + 11 und — 8 vH der Wasserführung bei Vollast ändert, bei unveränderlicher Hubbegrenzung dagegen der Fall, daß drei Turbinen laufen mit + 12 und — 19 vH. Nach Ansicht des Hydraulischen Instituts werden die Drucksteigerungen bei plötzlicher Entlastung solcher Anlagen mit veränderlicher Endbegrenzung auch bei schnellem Verstellen des Verteilschiebers 40 vH nicht überschreiten, was aber auch mit den üblichen Freilaufventilen bei sorgfältiger Einstellung zu erreichen ist. Bei unveränderlicher Hubbegrenzung dürften dagegen größere Steigungen des Druckes bei gleicher Schlußzeit zu erwarten sein.

Abgesehen von diesen Entlastungen auf Null bleibt die Gesamtwassermenge während der meisten Belastungen fast unverändert, da das überschüssige Wasser durch den Energievernichter abgeleitet wird. Das ist wirtschaftlich unschädlich, wenn entweder:

1) dauernd Wasser im Überschuß vorhanden ist, oder
2) die Anlage nicht speicherfähig ist, oder
3) Belastungsänderungen betriebmäßig nicht vorkommen.

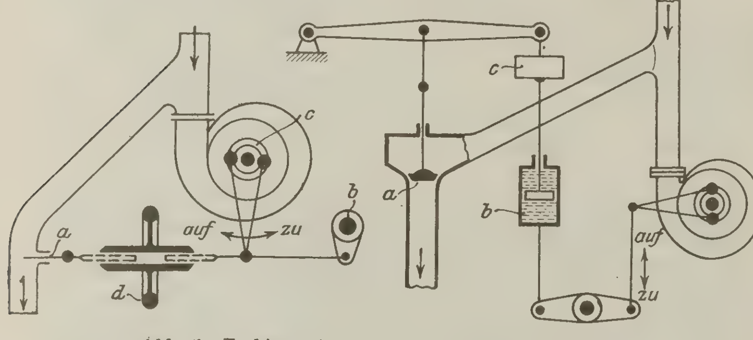


Abb. 5. Turbine mit Synchronschieber. **Abb. 6.** Turbine mit Freilaufventil.

Der erste Fall kommt in Deutschland fast nie vor. Der zweite Fall ist ebenfalls sehr selten, denn auch die sogenannten nicht speicherfähigen Anlagen gestatten fast immer für kurze Zeit eine Erhöhung des Oberwasserspiegels. Der dritte Fall kommt dann vor, wenn ein kleineres Kraftwerk seine ganze Leistung ununterbrochen an ein großes im wesentlichen durch Wärmekraftmaschinen gespeistes Netz abgibt. Größere Werke kommen hierbei nicht in Frage, denn man wird bei ihnen immer mit der Möglichkeit rechnen müssen, sie selbständig zu betreiben.

Der für das neue Verfahren geltend gemachte Vorzug einer Kostenersparnis, weil nur ein Regler und eine Freilaufvorrichtung für eine Mehrzahl von Turbinen nötig ist, ist zweifellos berechtigt. Oft wird aber die Betriebsicherheit den Ausschlag geben, die fraglos geringer ist, wenn das ganze Werk nur von einem einzigen Regler abhängt. Bei den Versuchen ergab sich eine Reglerarbeit, die ungefähr ebenso groß ist, wie sie für vier Leitapparate erforderlich gewesen wäre. Freilaufventile erfordern erfahrungsgemäß etwa gleiche Arbeit wie das Verstellen der Leitschaufeln. Mit Rücksicht darauf, daß der Verteilschieber der Versuchsanlage offenbar zu klein war, muß man bezweifeln, daß hier etwas gespart werden kann. Bessere Wirkungsgrade lassen sich nach Ansicht des Versuchsleiters kaum erzielen. Der Kostenersparnis durch Fortfall der Leitvorrichtungen steht der Nachteil gegenüber, daß die Leistung der Turbinen auf die Größe beschränkt ist, die bei höchstem Wirkungsgrad erreicht wird, während man bei verstellbaren Leitschaufeln darüber hinaus, freilich bei geringerem Wirkungsgrad, die Leistung noch um etwa 25 bis 30 vH steigern kann.

Zum Schluß wird in dem Versuchsbericht die Leistung der Esibe-Reglung mit den bisherigen Verfahren der Reglung der Gesamtwassermengen verglichen. Abb. 5 zeigt schematisch den Einbau des sogenannten Synchronschiebers *a*, der, von der Reglerwelle *b* mit dem Leitapparat *c* gleichzeitig verstellt, eine Veränderung der Leistung ohne Änderung der Gesamtwassermenge gestattet, während durch das Handrad *d* der Gesamtwasserverbrauch ohne Änderung der Leistung geregelt werden kann.

Die Anordnung des Freilaufventils zeigt Abb. 6. Beim Schließen der Leitschaufeln öffnet der Regler gleichzeitig das Freilaufventil *a*, das sich, durch eine Ölbremse *b* gebremst, nachher unter der Wirkung des Belastungsgewichtes *c* langsam wieder von selbst schließt. Daß der früher häufig verwandte Synchronschieber, der dasselbe wie der Esibe-Regler leistet, heute durch Freilaufventile ersetzt wird, hat seinen Grund darin, daß doch in den meisten Fällen ein Zurückhalten des Wassers während kurzzeitiger Belastungsverminderungen wünschenswert ist, und weil man bei hohen Gefällen bei der dauernden Energievernichtung im Synchronschieber Schwierigkeiten durch Abnutzung bemerkte.

Die Möglichkeit, die Freilaufleitung vom Wasserschloß zu sparen, wird bezweifelt. Wenn eine Freilaufleitung überhaupt, d. h. auch bei Verwendung eines Freilaufventils nötig erscheint, wird man sie auch bei der Esibe-Regelung nicht entbehren können. Das Ablassen des bei geringer Belastung überschüssigen Wassers durch den Verteilschieber hat den Nachteil, daß der Rechen dauernd geputzt werden muß. Besonders bei Eisandrang kann er sich verstopfen und der Oberwassergraben läuft über, wenn keine besondere Freilaufleitung da ist.

Prof. Thoma, der Vorstand des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München, hält es nicht für ausgeschlossen, daß man den Gedanken des Esibe-Regulierverfahrens zur Ausbildung eines Sicherheitsreglers verwenden kann, natürlich nur bei solchen Anlagen, bei denen eine Entlastung betriebsmäßig nicht vorkommt. Man würde dann z. B. bei jedem Maschinensatz ein von der Turbinenwelle angetriebenes Fliehkraftpendel oder eine gleichwertige Vorrichtung anordnen, die bei erheblicher Überschreitung der gewöhnlichen Drehzahl durch eine besondere Auslösung den Regler zum Schließen veranlaßt. [R 277] Fr.

Erd- und Wasserbau.

Abschließung der Eidermündung durch einen Querdamm.

Ein Meliorationsplan, der für die an der unteren Eider gelegenen Kreise der Provinz Schleswig-Holstein von weittragender Bedeutung ist, scheint jetzt, nachdem er seit einer Reihe von Jahren in den beteiligten Kreisen lebhaft erörtert worden ist, seiner Verwirklichung entgegenzugehen.

Die Eider zwischen Rendsburg und ihrer Mündung in die Nordsee bei Tönning bildet, seitdem seinerzeit ihr Oberlauf durch den Bau des Kaiser-Wilhelm-Kanals abgetrennt worden ist, nur noch einen Meereseinschnitt von etwa 100 km Länge, dessen Wasserstände durch die Gezeitenbewegung der Nordsee bestimmt werden. Die Niederungen zu beiden Seiten der Eider liegen so tief, daß sie durch hochwasserfreie Deiche gegen das bei Flut von der Nordsee her eindringende Wasser geschützt werden mußten. Infolgedessen können sie nur bei Ebbe während einiger Stunden am Tage entwässern, z. T. nur mit Hilfe von Schöpfwerken. Wenn infolge stürmischen Wetters besonders hohe Wasserstände in der Nordsee eintreten und diese, wie es häufig der Fall ist, mehrere Tiden hintereinander anhalten, so stockt während dieser Zeit die Entwässerung völlig, und das Wasser steigt, namentlich bei niederschlagreicher Witterung, in der Niederung so weit an, daß weite Flächen überschwemmt werden und erhebliche Verluste an Erträgen und Vieh eintreten. Hohe Sturmfluten, wie erst im August vorigen Jahres, verursachen zudem häufig umfangreiche Beschädigungen an den Deichen, so daß die Deichgenossenschaften gezwungen sind, große Summen für Beseitigung der Schäden aufzuwenden.

Der Plan geht nun dahin, die Eider bei Tönning durch einen Querdeich abzuschließen, so daß die Höhen der Wasserstände innerhalb des Abschlußdeiches nicht mehr unmittelbar mit Ebbe und Flut in der Nordsee schwanken, sondern unter normalen Verhältnissen nur abhängig sind von der Menge des aus der Niederung abfließenden Wassers. Man rechnet darauf, daß das bisherige Niedrigwasser in der Eider, nach oben hin zunehmend, durch das neue Niedrigwasser erheblich unterschritten werden wird, und daß nur dann, wenn bei anhaltend stürmischem Wetter die Siele im Abschlußdeich eine Reihe von Tiden hintereinander nicht geöffnet werden können und zugleich starke Niederschläge herrschen, das in der Eider zurückgehaltene Wasser bis etwa 0,80 m über den normalen Niedrigwasserstand ansteigen wird. Der neue Wasserstand in der Eider würde auf der obersten Strecke für die landwirtschaftliche Nutzung der Ländereien und die Schiffahrt zu niedrig werden, deshalb ist vorgesehen, diese letzte, obere Strecke durch einen zweiten niedrigeren und schwächeren Deich abzuschließen und den Wasserstand auf dieser oberen Strecke 1,20 m höher zu halten als zwischen den beiden Deichen.

Der Schiffahrt auf der Eider zwischen Rendsburg und Nordsee müssen dieselben Möglichkeiten erhalten bleiben, wie bisher. Zu diesem Zwecke soll der Abschlußdeich außer den notwendigen Entwässerungssielen eine Schiffsschleuse erhalten und auch der kleine Deich soll mit einer solchen ausgestattet werden, beide mit den Abmessungen der bestehenden Rendsburger Schleuse, ferner soll auf der Strecke zwischen den beiden Dämmen die Fahrrinne auf 4,5 m unter dem neuen Niedrigwasser vertieft werden. Die Querdeiche sollen zur Überführung bestehender bzw. geplanter Eisenbahnen und Landwege dienen. Außer den Deichen ist noch die Beseitigung der starken Krümmungen im Flußbett und eine Regelung der Fahrrinne außerhalb des Abschlußdeiches in Aussicht genommen.

Die Vorteile, die der ganzen Gegend hinsichtlich der Landeskultur durch die Ausführung des Planes erwachsen — Verbesserung der Entwässerungsverhältnisse und damit Wertsteigerung der Grundstücke, Ersparnis der Deichlasten, der Unterhaltung und des Betriebes der Siele und Schöpfwerke sowie der Baggerungen innerhalb des Abschlußdeiches infolge Fortfalls der Schlickzufuhr von See her, Möglichkeiten der Landgewinnung — werden so hoch eingeschätzt, daß die Deichverbände, Kreise, Gemeinden und Städte des Gebietes der untern Eider sich kürzlich ziemlich einmütig zu einem Verein zusammengetan haben, um einen bis ins einzelne gehenden Entwurf bearbeiten zu lassen, die Bereitstellung der Mittel zu betreiben und die Bildung einer Genossenschaft auf der gesetzlichen Grundlage vorzubereiten. [M 308] Bu.

Der Ausbau der Weichselmündungen[1].

In der Sitzung der Akademie des Bauwesens am 4. April sprach das ordentliche Mitglied, Geheimer Oberbaurat Brandt, über die geologische Geschichte der etwa 1500 km² umfassenden überaus furchtbaren Niederungen der Weichselmündungen und über die ihnen trotz Be-

[1] Vgl Z. Bd. 61 (1917 S. 881.

deichung aus der Zersplitterung der Mündungsarme — die sogenannte Geteilte Weichsel mit zwei Mündungsarmen in nördlicher, die Nogat in nordöstlicher Richtung — bis in die neueste Zeit durch Eisversetzungen und Deichbrüche drohenden Gefahren.

Als Abhilfe war seit über 100 Jahren die Zusammenfassung aller drei Arme in der sogenannten Geteilten Weichsel unter deren gerader Fortführung zur Ostsee mittels eines Durchstichs durch den Küstenwall, die Nehrung, vorgeschlagen. Ein natürlicher Durchbruch des Danziger Mündungsarms durch die Nehrung im Jahre 1840 hatte kaum Erfolg, mehr schon die 1848 bis 1853 in Verbindung mit den Ostbahnbrücken über die Weichsel bei Dirschau und die Nogat bei Marienburg ausgeführten Strombauten, die einen erheblichen Teil des Nogatabflusses der Geteilten Weichsel zuwiesen. Völlige Abhilfe brachte jedoch erst die planmäßige Durchführung des ursprünglichen Gedankens; sie erfolgte in drei Abschnitten: auf Grund des preußischen Gesetzes von 1888 wurde der Mündungsdurchstich zur Ostsee 1895 vollendet, 1901 bis 1907 folgte auf Grund eines Gesetzes von 1900 der weitere Ausbau des Hochwasserbettes vom Mündungsdurchstich aufwärts bis zur Nogatabzweigung, schließlich brachte das Gesetz von 1910 die Krönung des Werkes, den Abschluß der Nogat und die damit zusammenhängenden Bauten, darunter besonders die Verlängerung der zwei Weichselbrücken bei Dirschau.

Der eigentliche Nogatabschluß, Ende Juli 1914 nahezu vollendet, mußte bei Kriegsausbruch nicht nur unterbrochen, sondern teilweise sogar auf militärische Anordnung wieder zerstört werden; nach der Schlacht bei Tannenberg wurde dann die Wiederaufnahme der Arbeiten gestattet und das Werk zu Anfang 1915 im wesentlichen vollendet. Vom Februar 1915 ab finden die Hochwasser und Eisgänge der Weichsel auf 50 km Länge vom Eintritt ins Mündungsgebiet bis zur Ostsee ein 1000 m breites, schlank zwischen sicheren Deichen verlaufendes Bett; bei guter Unterhaltung dieses Hochwasserbettes und bei Fortsetzung des planmäßigen künstlichen Eisbrechbetriebes mittels besonderer Dampfer ist eine Deichbruchkatastrophe infolge Eisversetzung, wie sie 1855 und 1888 eintraten, für das Mündungsgebiet nicht mehr zu befürchten.

Für das Unternehmen sind seit 1888 rd. 48 Mill. Goldmark ausgegeben, darunter 13 Mill. von den beteiligten Deichverbänden, bei der Größe des geschützten Gebiets liegt wie in technischer so auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein voller Erfolg der preußischen Wasserbauverwaltung vor. Seit 1920 gehört leider nur noch ein Viertel des Gebietes zu Deutschland, das übrige zur Freien Stadt Danzig und zu Polen. [M 303]

Kraftübertragung.

Die 100 kV-Leitung über die Elbe bei Wildberg[1]).

Eine besondere Schwierigkeit bei der Herstellung des sächsischen Hochspannungsnetzes bot die Überquerung der Elbe. Da Schiffe noch bei höchstem Wasserstand mit aufgerichtetem Mast bei ausreichendem Sicherheitsabstand unter der Leitung hindurchfahren sollen, mußte die unterste Leitung 25 m über dem Höchstwasserstand hängen. Die oberste Kante der Gründungen der Kreuzungstürme ist 50 cm über den höchsten Hochwasserstand (1890) gelegt worden.

Einen Begriff von der Größe des Bauwerks geben Abb. 7 bis 9. Die Kreuzung der Elbe selbst hat 275 m, die Nachbarfelder 320 m und 200 m Spannweite. Die größte Zugspannung beträgt bei den Phasenseilen 12 kg/mm², beim Erdseil 14 kg/mm². Die sechs Phasenleiter sind

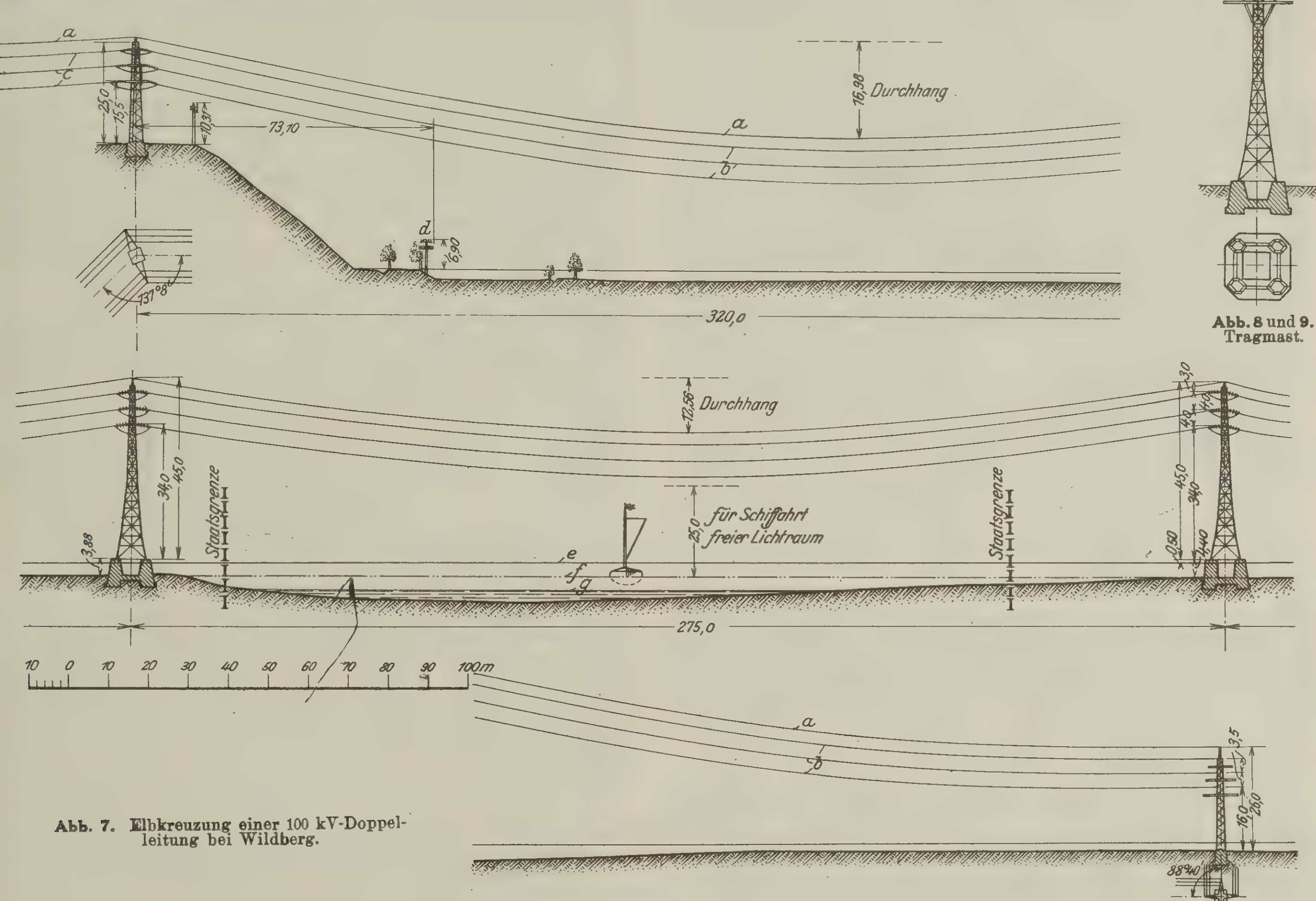


Abb. 8 und 9. Tragmast.

Abb. 7. Elbkreuzung einer 100 kV-Doppelleitung bei Wildberg.

Bronzeseile von je 95 mm² Querschnitt und 70 kg/mm² Zugfestigkeit, das Erdseil ist ein Stahlseil von 50 mm² Querschnitt und 70 kg/mm² Zugfestigkeit. Die Seile sind im eigentlichen Kreuzungsfeld je durch doppelte achtgliedrige Abspann-Isolatorenketten mit den Türmen verbunden. Die Bronzeseile erstrecken sich über alle drei Spannfelder, da man Zugunterschiede, die sich aus der Verwendung von Bronze im Kreuzungsfeld und Aluminium im normalen Leiterzug ergeben, nicht an die Kreuzungstürme legen und auch die Aluminiumseile der Nachbarfelder nicht von den hohen Kreuzungstürmen auf die Maste gewöhnlicher Höhe überführen wollte. (ETZ Bd. 45 Nr. 2 vom 10. Januar 1924.) [R 174] Sd.

Gesundheitsingenieurwesen.

Aufbereitung von Trink- und Gebrauchswasser.

Dr. Fr. Bamberg berichtet[2]) über praktische Erfahrungen bei der Reinigung von Trink- und Gebrauchswasser und bespricht die gegenseitigen Einwirkungen der verschiedenen im Wasser enthaltenen Salze und Gase und die sich daraus für die Reinigung ergebenden Schwierigkeiten. In erster Linie müssen die Eisen- und Mangansalze und die im Überschuß vorhandene und daher Eisen und Mörtel angreifende Kohlensäure ausgeschieden werden. Nach der Analyse allein kann die Art der Reinigung meist nicht ohne weiteres bestimmt werden, sondern nur durch praktische Versuche, die zwar heute nur noch in wenigen Einzelfällen im großen durchgeführt werden müssen. Fast

[1]) Vergl. Z. Bd. 66 (1922) S. 972, Bd. 67 (1923) S. 791, Bd. 68 (1924) S. 264
[2]) „Das Gas- und Wasserfach" 1923 Heft 50 bis 52.

immer genügt ein Laboratoriumsversuch. Nur durch solche Versuche kann festgestellt werden, ob die verschiedenen im Wasser enthaltenen Stoffe fördernd oder hemmend auf den Reinigungsvorgang einwirken. Nach Menge, Form und Bindung kann dann erst entschieden werden, ob eine geschlossene oder eine offene Anlage vorzuziehen ist, ob der Luftsauerstoff zum Reinigen ausreicht, oder ob chemische Reinigung erforderlich ist.

Eisen und Mangan: Als Karbonat wird Eisen meist leicht ausgeschieden. Mangan wird teils leicht, teils schwer ausgeschieden, wobei nach der Analyse nicht zu erkennen ist, ob es an Kohlensäure oder an Schwefelsäure gebunden ist, da die festgestellte Menge SO_3 auch an andre Stoffe gebunden sein kann. In Begleitung von Eisenkarbonat pflegt Mangan mit diesem ausgeschieden zu werden, und zwar bald vor und bald nach ihm. Durch Basenaustausch, wie früher von dem Manganpermutit behauptet wurde, kann Mangan nicht entfernt werden, sondern nur durch Oxydation mit Sauerstoff und katalytische Wirkung. Letztere nimmt mit steigender Durchflußgeschwindigkeit durch den Kontaktkörper zu und ist um so stärker, je frischer die hydratischen Oxyde auf dem Kontaktkörper erzeugt sind.

Algen und andre Kleinorganismen können zwar als Sauerstoffübertrager den Vorgang beschleunigen, sind aber unerwünscht, da sie selbst Sauerstoff verzehren und dem ausgeschiedenen Eisen- und Manganschlamm eine klebrige, das Filter verbackende Beschaffenheit geben. Häufiges Rückspülen und Umrühren der Filterfüllung sind dann erforderlich. Ein saurer Gesamtcharakter des Wassers hemmt die Reinigung, ein alkalischer fördert sie. Aus einem Wasser, das schwer ausfällbare Eisensalze, nicht unerhebliche Mengen Mangan, einen Überschuß an freier Kohlensäure und überdies verhältnismäßig viel gelöste organische Stoffe enthält, wurde das Mangan in der geschlossenen Anlage erst dann befriedigend ausgeschieden, als von den drei Kesseln für die Enteisenung, die Entmanganung und die Entsäuerung letzterer zwischen die beiden andren geschaltet worden war.

Überschüssige freie Kohlensäure hemmt in den meisten Fällen die Enteisenung, doch geht diese oft selbst in geschlossenen Anlagen bei hohem Kohlensäuregehalt glatt vonstatten. Die Kohlensäure läßt sich dann in nachgeschalteten Marmorfiltern durch chemische Bindung oder in andrer Weise entfernen. Die Marmorfilter wirken auch noch bei großer Karbonathärte bis zu 20 Härtegraden gut, doch kann die Wirkung bei noch größerer Härte schließlich ganz aufhören. Die beim Enteisenen durch Spaltung der Eisenkarbonate freiwerdende Kohlensäure wird vom Wasser nicht gelöst, sondern von dem ausgeschiedenen Eisenschlamm aufgenommen, wobei ein wasserunlösliches Salz, ähnlich dem basischen Zinkkarbonat, entsteht. Karbonathärtebildner, und zwar in gleicher Weise Kalk- und Magnesiasalze, fördern den Enteisenungs- und Entmanganungsvorgang ganz erheblich. Hemmend wirken dagegen organische Stoffe, deren chemische Zusammensetzung meist nicht bestimmbar ist, und die bald sauren, bald alkalischen Charakter haben. Meist sind chemische Zusätze erforderlich, um die durch solche Stoffe verursachte Färbung des Wassers zu beseitigen. Unter Umständen kann aber das Eisen auch nur durch Luftsauerstoff bei feinstem Versprühen und Stoßwirkung entfernt werden. Ein höherer Gesamtsalzgehalt des Wassers fördert im allgemeinen die Enteisenung. Am schwersten ist ein ganz salzarmes, insbesondere auch weiches Wasser mit geringem Eisengehalt zu enteisenen.

Huminsäure. Eisen- und Mangansalze sind durch Luftsauerstoff gar nicht oder nur teilweise spaltbar. Hier muß zu chemischer Reinigung, und zwar durch Tonerde, Ätzkalk, Eisenchlorid, Kaliumpermanganat u. a. geschritten werden. Eisenchlorid wirkt am schnellsten. Weiches Wasser muß hauptsächlich mit schwefelsaurer Tonerde und Ätzkalk behandelt werden, wobei sich schnell leicht ausscheidbare Flocken bilden. Freie Kohlensäure muß stets durch Kalkzusatz neutralisiert werden. Durch solche Zusätze ist eine vollkommene Reinigung möglich. Färbungen sind, wie schon erwähnt, nur in Einzelfällen durch bloße Belüftung zu beseitigen.

Chloride und Sulfate sind im allgemeinen, besonders wenn ihre Säuren ausschließlich an Alkalien gebunden sind, ohne Wirkung auf die Enteisenung. Bei größerer Menge wirken sie eher fördernd als hemmend. Doppelsalze, die z. B. in Gegenden der Kali- und Braunkohlen-Industrie häufig vorkommen, hemmen die Enteisenung.

Luftsauerstoff: Ohne diesen ist eine Enteisenung nicht denkbar. Er wird vielfach als letzte Ursache der Rost- und Zerstörungsvorgänge angesehen, jedoch mit Unrecht. Natürlich ist Sauerstoff für jeden Rostvorgang unerläßlich. Die Ursache der Zerstörungen sieht Fr. Bamberg aber in der freien Kohlensäure. Daß der Luftsauerstoff an sich durchaus harmlos ist, beweisen gerade die vielen Enteisenungsanlagen, die besonders früher teilweise mit sehr hohem Luftzusatz gearbeitet haben und die deshalb überall starke Rostbildung zur Folge haben müßten. Dies ist aber keineswegs der Fall. Rost bildet sich nur dann, wenn gleichzeitig überschüssige Kohlensäure vorhanden ist. Selbstverständlich fördert der Sauerstoff das durch Kohlensäure verursachte Rosten, indem er das entstandene kohlensaure Eisenoxydal, das ohne Luftüberschuß gelöst bliebe, spaltet, wobei Eisenhydroxyd als Schlamm ausfällt und Kohlensäure als Gas frei wird, die nun von neuem das Eisen angreifen kann.

Bei offenen Anlagen entfällt übrigens die Möglichkeit, den Sauerstoffgehalt zu regeln und auf das für Trinkwasser mit Rücksicht auf etwa vorhandene organische Stoffe unbedingt erforderliche Maß zu beschränken. Hier nimmt das Wasser entsprechend seiner niedrigen Temperatur bei der Belüftung sehr viel größere Mengen Luft auf, von der es, soweit es sich um Grundwasser handelt, zunächst nichts enthält, da ja sonst die Enteisenung schon im Erdreich beginnen müßte, und das Wasser trübe an die Oberfläche käme. Will man also den Sauerstoffgehalt des gereinigten Wassers möglichst niedrig halten, wird man geschlossene Anlagen vorziehen müssen. Sie sind auch für die Reinigung von Wasser dann vorteilhafter, wenn dafür Kontakt- bzw. katalytische Vorgänge von Bedeutung sind, die bei offenen Anlagen nicht oder nur unvollkommen auftreten können. Scheinen für den Reinigungsvorgang im gegebenen Fall auch beide Verfahren gleichwertig zu sein, so ist doch immer zu beachten, daß offene Anlagen fast stets eine zweite Pumpenanlage erfordern.

Tritt allerdings Kohlensäure in größerer und stark wechselnder Menge auf, so wird die offene Anlage vorteilhafter, weil das Austreiben der Kohlensäure auf mechanischem Wege so gut wie kostenlos vor sich geht, während die chemische Bindung durch Marmor laufende Betriebskosten verursacht. Vorausgesetzt ist freilich, daß gleichzeitig mit der Entsäuerung auch die Enteisenung vor sich geht.

In der norddeutschen Tiefebene enthalten eisenhaltige Grundwässer meist nur wenig Kohlensäure. Hier ist also die Entsäuerung im Anschluß an die Enteisenung in geschlossenen Behältern am Platze. Beim Marmorfilter spielt ein wechselnder Kohlensäuregehalt keine Rolle, wenn die Anlage groß genug gewählt ist, da es hauptsächlich auf die Durchflußgeschwindigkeit ankommt. Bei weichem Wasser steigt die Karbonathärte bei diesem Verfahren, was vorteilhaft ist, da dadurch ein größerer Schutz gegen Rosten erzielt wird. Als chemisches Verfahren ist nur ein richtig bemessener Zusatz von gesättigtem Kalkwasser zweckmäßig, wobei ebenfalls die Karbonathärte steigt. Mechanische Entgasung durch Druckverminderung kann nie zu einem vollen Erfolg führen. Wie weit die Kohlensäure übrigens zu entfernen ist, kann aus der Zahlentafel von Tillmanns und Heublein entnommen werden, die angibt, wieviel der festgestellten Kohlensäure als unschädlich zulässig ist. Dieser Anteil nimmt aber anscheinend mit der Karbonathärte zu. Bei Kühl- oder Kesselspeisewasser tritt heute das Vermeiden der Rostbildung mehr in den Vordergrund als die Enthärtung.

Bei Speisewasser tritt zu der im Wasser gelösten Kohlensäure noch die hinzu, die unter Verhältnissen, wie etwa im Dampfkessel durch Spaltung der alkalischen Erden entsteht, die mit Kohlensäure in halbgebundener oder gebundener Form auftreten. Die hierdurch möglichen Zerstörungen können durch Kalkzusatz vor dem Eintritt in den Kessel vermieden werden. Auch die Gegenwart von Kochsalz, Glaubersalz, Chlormagnesium, Kalziumchlorid u. a. schadet nichts, wenn Kalk in geringem Überschuß vorhanden ist.

Als Beweis dafür, daß der Sauerstoff allein kein Rosten verursacht, werden Versuche in den Ozonwasserwerken in Schierstein und Paderborn angeführt. Unmittelbar hinter den Ozonanlagen wurden in die Reinwasserströme polierte Eisenstäbe eingehängt. Trotzdem an diesen Stellen zeitweise noch etwas Ozon nachgewiesen werden konnte, waren die Eisenstücke nach drei Monaten noch ohne jeden Rostbelag. Ferner zeigt sich auch im Innern der Behälter eines guten Kalksodaenthärters niemals Rostansatz, solange die Gefäße dauernd mit Wasser gefüllt sind.

Somit sind auch in Kondensaten und Destillaten stets nur Öl und freie Kohlensäure die Rosterreger, die durch Kalkzusatz unschädlich gemacht werden können. Vielfach wird deshalb schon in Großanlagen das Niederschlagwasser der Turbinen dem für das Zusatzspeisewasser aufgestellten Kalksodaenthärter zugeführt, und zwar hinter der Stelle, wo Kalk und Soda zugemessen werden. Durch den Kalk wird die Kohlensäure unschädlich gemacht und durch den sich beim Enthärten ausscheidenden Schlamm gleichzeitig auch das etwa vorhandene Öl in abfiltrierbare Form gebracht. [M 193] Fr.

Berichtigung.

Produktionsverhältnisse der mechanischen Industrien in Österreich.

In meinem Aufsatz in Z. Nr. 10 vom 8. März 1924 verfolgte ich die Absicht, die Entwicklung und den Stand der mechanischen Industrien in ganz großen Zügen darzustellen. Es ist natürlich, daß trotz richtiger Gesamtschilderung Einzelheiten aus der großen Linie so herausfallen, wie etwa einzelne Punkte aus einer Ergebniskurve.

So habe ich gesagt, daß Österreich durch Abtrennung des böhmischen und mährischen Industriezentrums ohne Dampfmaschinenbau und ohne Kesselbau verblieben ist, was nicht so zu verstehen ist, daß Österreich völlig ohne jeden Dampfmaschinenbau und Kesselbau geblieben wäre. Ich ergänze aber gern meine Mitteilung dahin, daß in Österreich immerhin Dampfmaschinenbau und Kesselbau betrieben wird. Beispielsweise hat die Maschinenfabrik Andritz neben normalen Maschinen insbesondere im Rahmen der steirischen Hüttenindustrie schwere Walzenzug- und Gebläsemaschinen gebaut, die bis zu 14 000 PS Einzelleistung aufweisen. Diese Fabrik teilt mir mit, daß sie in der Zeit von 1900 bis jetzt 1550 Kolbenmaschinen gebaut hat. [M 393]

Wien. Ingenieur Oskar Taussig.

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Fünfundzwanzig Jahre Zeppelin-Luftschiffbau. Von Direktor Dr. L. Dürr, Friedrichshafen. Anläßlich der in Kürze stattfindenden Amerikafahrt des „L Z 126", der in Z. Bd. 68 (1924) Nr. 22 dargestellt ist, erscheint im VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, ein mit einem Temperabild des Grafen Zeppelin versehenes und reich mit Abbildungen ausgestattetes Sonderheft als Dokument der in Friedrichshafen geleisteten bahnbrechenden deutschen Arbeit.

Höchstdruckdampf. Eine Untersuchung über die wirtschaftlichen und technischen Aussichten der Erzeugung und Verwertung von Dampf sehr hoher Spannung in Großbetrieben. Von Dr.-Ing. F. Münzinger. Berlin 1924, Julius Springer. 140 S. mit 120 Abb. Preis geh. Gm. 7,20, geb. Gm. 7,80.

Das Buch ist dem Andenken des Baurats Dr. W. Schmidt, des bahnbrechenden Ingenieurs und genialen Erfinders auf dem Gebiete der modernen Dampftechnik, gewidmet. Der Verfasser hat sich eine sehr umfangreiche und schwierige Aufgabe gestellt. Im ersten Teil „Thermische Grundlagen" beschäftigt er sich mit den Eigenschaften von Wasserdampf und der Berechnung der Heizflächen von Kessel, Überhitzern, Ekonomisern. Die erzielten Ergebnisse sind von allgemeiner Bedeutung, und daher werden die vom Verfasser gefolgerten Vorschläge über den zweckmäßigsten Bau von Höchstdruckkesseln bei den ausführenden Kesselfirmen und bei den Konstrukteuren derartiger Anlagen große Beachtung finden und mit zur Verhütung von Fehlschlägen beitragen.

In einem weiteren Kapitel behandelt der Verfasser die Erzeugung und Fortleitung von Höchstdruckdampf; er beschreibt dabei den Atmoskessel, den Besson-Prozeß, die Vorschläge von Ruths und die Höchstdruckkessel normaler Bauart, worunter er Höchstdruckkessel versteht, die sich an die üblichen Kesselbauarten anlehnen. Dann sind unter dem Titel „Das betriebsmäßige Verhalten von Höchstdruckkesseln" einige Ausführungen über Armaturen, sowie über den Wasserumlauf, die Speicherfähigkeit und den zulässigen Druckabfall usw. von Höchstdruckkesseln enthalten. Weiter folgen unter „Herstellung der Dampfkessel" Angaben über die Eigenschaften der Trommelbaustoffe und über die Herstellung von Trommeln.

Ferner ist die Abhängigkeit des Kesselpreises vom Dampfdruck behandelt. Diese Untersuchungen haben zweifellos nicht die Bedeutung wie die vorangehenden Kapitel, denn bei dem dauernden Schwanken der Preise und den fortwährenden Änderungen und Fortschritten in der Konstruktion ist eine Behandlung dieser Frage mangels praktischer Erfahrungen noch nicht am Platze; derartige Angaben sind eher schädlich als nützlich. Außerdem ist die Grundlage des Vergleichs wohl nicht ganz einwandfrei. Den Kesseln von 15 bis 20 at Betriebsdruck sind Mittelpreise aus der ersten Hälfte des Jahres 1914 zugrunde gelegt, die infolge sehr scharfen Wettbewerbs sehr niedrig waren, da damals noch keine Preiskonvention bestand. Den Preisangaben für Höchstdruckkessel mit geschmiedeten Trommeln liegen dagegen die Preise der betreffenden Angebotfirmen zugrunde. Diese Preise stammen aus dem Jahre 1923, sind aber heute infolge der Fabrikationsverbesserungen viel zu hoch. Der Verfasser hat außerdem bei seinen Untersuchungen sehr reichliche Sicherheitszuschläge gemacht. Wenn er daher auf Grund seiner Untersuchungen in dem Kapitel „Wirtschaftliche Aussichten von Höchstdruckdampf" verhältnismäßig geringe Ersparnisse feststellt, so sind diese nicht als unbedingt zuverlässig zu bewerten. Wirklich brauchbare Zahlen erhält man nur, wenn man vollständige Entwürfe für jeden einzelnen Fall durcharbeitet.

Bei der Erörterung „neuer wärmewirtschaftlicher Probleme" kommt der Verfasser auch auf die Emmet-Qecksilber-Turbinenanlage zu sprechen. Er faßt seine Schlußfolgerung dahin zusammen, daß der Kampf um die wirtschaftlichste Kraftmaschine äußerst erbittert bleiben wird.

Alles in allem genommen, ist das Buch eine sehr lesenswerte Studie, die allen auf diesem Gebiete tätigen Fachleuten von Nutzen sein wird. [B 440] O. H. Hartmann.

Die heutige Metalltechnik, 4. Band. Die Feuerbearbeitungen der Metalle. Von Gg. Th. Stier d. Ä. Leipzig 1923, Dr. Max Jänecke. 3. Auflage mit 241 S. u. 320 Abb. Preis Gm. 3,85.

Das Buch soll sowohl „den Laien und Lehrling als auch den im Betrieb stehenden, selbst ältesten Werkmann und Meister beraten und auch den Theoretikern dienen, die zu wenig praktisch gearbeitet haben und doch auch hierin Kenntnisse besitzen sollten." Wenn man sich mühsam durch das schwer lesbare Buch hindurchgearbeitet hat, gewinnt man die Überzeugung, daß der Verfasser dieses reichlich weit gesteckte Ziel nicht erreicht hat. Ob es überhaupt möglich ist, ein technisches Buch, das dem Laien und dem theoretisch gebildeten Fachmann gleich wertvoll ist, zu schreiben, erscheint mir sehr zweifelhaft. Der hier unternommene Versuch beweist jedenfalls das Gegenteil.

In zwei Teilen werden die Gießarbeiten und das Bearbeiten durch teilweise Schmelzung als Schweißen, Löten und Schmieden fast ausschließlich für das Eisen behandelt, wobei der Verfasser in erster Linie die rein praktischen Gesichtspunkte herausstellt. Ganz besonders wird dabei auf das Schweißen und Schmieden eingegangen. Es mag dahingestellt bleiben, ob es zweckmäßig ist, die unter den Arbeitern gebräuchlichen Fachausdrücke, die dazu noch meist örtlich verschieden sind, dabei in so weitgehendem Maße zu verwenden, wie es hier geschieht. Wenig angenehm berührt auch die fast ausschließliche Benutzung von Katalogbildern zur Ergänzung der Ausführungen. Sie zeigen dabei z. T. nicht einmal die neuesten Ausführungen der dargestellten Maschinen und Vorrichtungen. Zugegeben mag werden, daß der Verfasser über einen großen Schatz eigner Betriebserfahrungen verfügt, leider ist aber der Stil, mit dem er diese Erfahrungen zu vermitteln sucht, wenig fließend und daher sehr ermüdend. Dem Fachmann sagt jedenfalls das Buch nichts Neues, außerdem gibt es bereits eine Anzahl guter Bücher, die denselben Stoff dem Laien und dem Arbeiter in populär-wissenschaftlicher Form vermitteln, so daß ein besonderes Bedürfnis für ein weiteres dieser Art kaum vorliegen dürfte. [B 275] Lohse.

Wärmewirtschaftsfragen. Von L. Litinsky. Leipzig 1923, O. Spamer. 194 S. mit 40 Abb. und 17 Tabellen. Geh. Gm. 4,70, geb. Gm. 5,50.

Der Inhalt des Buches stellt als Sammelheft der vom Verlage herausgegebenen „Monographien zur Feuerungstechnik" eine Wiedergabe von Aufsätzen dar, die L. Litinsky teils vor, teils nach dem Krieg in verschiedenen Fachzeitschriften veröffentlicht hat. Die Stärke des Verfassers liegt in dem mit großem Geschick durchgeführten Zahlenbeispiel, das er für jeden Abschnitt mit vielen dazu gehörigen literarischen Hinweisen vorrechnet. Er stützt sich dabei aber immer auf zahlreiche unbegründete Voraussetzungen und Annahmen, die versuchsmäßig nicht belegbar sind. Dadurch werden die Ergebnisse für den Praktiker nahezu wertlos und lösen beim Kenner wenig Vertrauen aus. Wenn der Verfasser z. B. selbst zu seiner „Wärmebilanz eines Glasschmelzofens" (Abschn. II) bemerkt, daß inzwischen, d. h. seit der ersten Veröffentlichung in der „Feuerungstechnik" 1916/17, Heft 13/15 „eine gewaltige Änderung in den Verhältnissen eingetreten sei", dann mißt er damit seiner Arbeit nur noch geschichtliche Bedeutung bei. Bei bester Absicht des Verfassers, den Stand unserer industriellen Feuerungstechnik zu heben durch thermo-technisches Rechnen, leidet er wie so viele andre Verfasser seiner Richtung unter dem Mangel an fortgeschrittenen ausbeutefähigen Großversuchen in den Betrieben. Ohne diese wichtigen Grundlagen werden die meisten Veröffentlichungen über Wärmewirtschaftsfragen nur Wiederholungen von Ansichten darstellen, die für die Technik und Wissenschaft keinen Fortschritt bedeuten. [B 411] M.

Beiträge zur technischen Mechanik und technischen Physik. August Föppl zum siebzigsten Geburtstag gewidmet von seinen Schülern. Berlin 1924, Julius Springer. 208 S. m. 111 Abb. und einem Bildnis. Preis geh. Gm. 8, geb. Gm. 9,60.

Es ist noch nicht lange her, daß der Ingenieur manchen Teilen der Mechanik, wie z. B. der Hydrodynamik, sehr zweifelnd gegenüberstand. Nach seiner Ansicht war hierbei wissenschaftlich einwandfrei etwa gleichbedeutend mit praktisch falsch. Wenn hierin Wandel geschaffen ist, so ist es zu einem großen Teile das Verdienst von August Föppl und seinen Schülern.

Im vorliegenden Werke widmen etwa zwanzig von den Tausenden ihrem Meister einen kurz gefaßten Beitrag. Durch die Reichhaltigkeit des Werkes auf engem Raum kommt damit die universelle Bedeutung A. Föppls für die technische Mechanik und Physik klar zur Geltung. Eine ganze Reihe dieser Schüler sind heute Vertreter der Wissenschaft und haben sich als solche große Verdienste um das Ingenieurwesen erworben.

Es kann an dieser Stelle nur auf einige Beiträge kurz eingegangen werden: Den ersten hat Dr.-Ing. G. Bauer, Direktor der Vulkanwerft Hamburg, geschrieben; er faßt im Gegensatz zum Daltonschen Gesetz seine Versuche mit Gasen und Dämpfen dahin zusammen, daß sich bei Mischung von Gasen und Dämpfen bei Temperatursteigerung ein Druck einstellt, der praktisch dem Gasdruck, vermehrt um den Sättigungsdruck der am leichtesten siedenden Flüssigkeit, entspricht.

Ein Sohn des Jubilars, Prof. Dr. O. Föppl, Braunschweig, berichtet über seine Versuche zur Schwingungsdämpfungsfähigkeit von Baustoffen, worüber die Leser dieser Zeitschrift schon unterrichtet sind, s. Bd. 68 (1924) S. 203; ein zweiter Sohn, Prof. L. Föppl, München, berichtet über die Bestimmung der Knicklast eines Stabes durch Schwingungsversuche. L. Prandtl, Göttingen, ein Schwiegersohn von A. Föppl, bringt mit seiner Abhandlung: „Elastisch bestimmte und elastisch unbestimmte Systeme" einen Beitrag zur Theorie der dünnen ebenen Platte. Einen mit Rücksicht auf die lästigen Schüttelschwingungen bei elektrischen Lokomotiven wichtigen Beitrag hat L. Dreyfus, Schweden, geliefert. Besonders zeitgemäß sind die Beiträge, die vom Wärmeübergang in der Verbrennungsmaschine (Mader) und über die neuzeitige Hydrodynamik (H. Thoma) handeln. Der letzte Beitrag gewährt Ausblicke auf Lösungen von größter praktischer Bedeutung.

A. Föppls Gewandtheit im Gebrauch der Sprache ist berühmt und hat wesentlich zu seinen großen Erfolgen beigetragen. Auch hier suchen es die Schüler ihm gleich zu tun. Dr.-Ing. W. Schmidt.

Vorträge über Elastizitätslehre als Grundlage für die Festigkeits-Berechnung der Bauwerke. Von Wilh. Keck. Dritte Aufl. von Dr.-Ing. eh. L. Hotopp. Hannover 1924, Helwingsche Verlagsbuchhandlung. 2. Teil, 482 S. m. 229 Abb. Preis geh. Gm. 7, geb. Gm. 9.

Die zweite Auflage des vorliegenden Werkes in ihrer Umarbeitung von Hotopp ist in Z. Bd. 52 (1908) S. 1853 von berufener Seite eingehend gewürdigt worden, wobei die Richtlinien, dem Bauingenieur sichere Grundlagen seines Wissens zu vermitteln, besonders betont

wurden. Die vorliegende dritte Auflage ist an verschiedenen Stellen erweitert; so ist im dritten Abschnitt der Maxwellsche Satz von der Gegenseitigkeit der elastischen Verrückungen unter Hinzufügung der Bettischen Verallgemeinerung eingehender behandelt. Der von Müller-Breslau. in die Statik eingeführte Begriff der „Elastischen Schwerpunkte" zur Bestimmung der statisch unbestimmten Größen wird erläutert. Auch auf die Grundzüge strenger Elastizitätstheorie ist im fünften Abschnitt eingegangen. Das Werk wird in seiner neuen Form den Kreis seiner Freunde erweitern.

Grundzüge der Technischen Schwingungslehre. Von Prof. Dr.-Ing. O. Föppl. Berlin 1923, Julius Springer. 151 S. m. 106 Abb. Geh. Gm. 4, geb. Gm. 4,80.

Das vorliegende Werk ist in gewisser Hinsicht eine Ergänzung des bekannten Werkes „Technische Schwingungslehre" von Dr. W. Hort. Es geht aber nicht auf elektrische Schwingungen ein und enthält auch nur wenige Quellenangaben. Behandelt werden die eigentlichen Grundzüge der technischen Schwingungslehre, soweit sie für Maschinen- und Bauingenieure in Betracht kommen. Besonders eingehend wird die Schwingungsfestigkeit der Baustoffe erläutert, wobei sich der Verfasser größtenteils auf eigene Versuche stützt; dabei wird auf die praktisch sehr wichtige innere Energieaufnahmefähigkeit der Werkstoffe gebührend hingewiesen. Der Schluß enthält die Ansicht des Verfassers über Ätherschwingungen.

Die Mechanik. Von R. Lauenstein. Bearb. v. C. Ahrens. Leipzig 1923, Körner. 272 S. m. 235 Abb. Preis Gm. 5.50. geb. Gm. 8.

Kälteprozesse, dargestellt mit Hilfe der Entropie-Tafel. Von P. Ostertag. Berlin 1924, Julius Springer. 118 S. mit 58 Textabb. und 3 Taf. Preis geh. Gm. 6, geb. Gm. 6,80.

Sinusrelief und Tangensrelief in der Elektrotechnik. Von Fritz Emde. Braunschweig 1924, Vieweg & Sohn A.-G. 108 S. mit 18 Abb. Preis Gm. 4,50.

Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Vortragsreihe aus dem Elektrotechnischen Verein und der Technischen Hochschule, Berlin. Herausgegeben von A. Schering. Berlin 1924, Julius Springer. 392 S. Preis Gm. 16.

Jahrbuch der Elektrotechnik. Übersicht über die wichtigeren Erscheinungen auf dem Gesamtgebiet der Elektrotechnik. Herausgegeben von Karl Strecker. Jahrg. 11. München und Berlin 1924, R. Oldenbourg. 241 S. Preis Gm. 10.

Sprungwellenschäden und ihre Bekämpfung durch den Glimmschutz. Nach den Erfahrungen der Paul Meyer A.-G. von Georg I. Meyer. Leipzig und Berlin 1924, B. G. Teubner. 76 S. Preis Gm. 0,75.

AEG-Verstärker für kleinere Fernsprechbetriebsstellen. Von F. Gehrts. Berlin 1924, AEG. 15 S.

Die Fernsprechanlagen mit Wählerbetrieb (Automatische Telephonie). Von Fritz Lubberger. 2. Aufl. München und Berlin 1924, R. Oldenbourg. 200 S. mit 120 Abb. Preis geh. Gm. 7,50, geb. Gm. 9.

Theoretische Telegraphie. Eine Anwendung der Maxwellschen Elektrodynamik von Franz Breisig. 2. Aufl. Braunschweig 1924, Vieweg & Sohn A.-G. 548 S. Preis geh. Gm. 26, geb. Gm. 28.

Handbuch der Radiologie. Herausgegeben von Erich Marx. Bd. 4, Teil 2. **Der elektrische Lichtbogen,** von Aug. Hagenbach, 2. Aufl. Leipzig 1924, Akadem. Verlagsgesellschaft m. b. H. 282 S. mit 130 Fig. Preis geh. Gm. 9, geb. Gm. 12.

Bibliothek des Radioamateurs. Bd. 5. Max Baumgart: **Der Hochfrequenzverstärker.** Berlin 1924, Julius Springer. 32 S. Preis Gm. 0,75.

Untersuchungen zur Klärung der Frage der elektrischen Verhüttung. Von R. Durrer. Herausgegeben von der Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung der schweizerischen Erzlagerstätten. Düsseldorf 1924, Stahleisen. 48 S. Preis Gm. 5.

Die Theorie der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. Studien über das Erstarrungs- und Umwandlungsschaubild nebst Anhang. Von E. Heyn. Herausgegeben von E. Wetzel. Berlin 1924, Julius Springer. 185 S. mit 103 Textabb. und 16 Tafeln. Preis Gm. 12.

Chemische Technologie der Neuzeit. Bearbeitet und herausgegeben von Franz Peters. 2. neubearb. Aufl. Bd. 1, Lfg. 1. Stuttgart 1924, Enke. 192 S. Preis Gm. 9.

Mitteilungen des Instituts für Kraftfahrwesen an der Sächsischen Technischen Hochschule Dresden. Herausgegeben von Otto Wawrziniok. Sammelband 2. Berlin 1924, Klasing. 75 S. Preis Gm. 4.

Aus dem Inhalt des Werkes: Die Beeinflussung des Schmieröles der Fahrzeugmotoren durch den zum Betrieb verwendeten Kraftstoff. Bericht über Untersuchungen von zerbrochenen Kraftwagenteilen. Versuche mit Kraftstoff-Verbesserungsmitteln. „Brennstoffsparer", ihre Wirkungsweise und ihre Bewertung sowie Richtlinien zur Verbesserung des Motorbetriebes. Die Regelung des Wärmezustandes der Kraftwagenmotoren. Fahrzeugmotorenbetrieb mit flüssigen Kraftstoffen und mit Azetylengaszusatz.

Berichte und Abhandlungen der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt. Heft 1, März 1924: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1923. München und Berlin 1924, R. Oldenbourg. 113 S. Preis Gm. 7,50.

Aus dem Inhalt des 11. Heftes (März 1924) u. a. Everling: Wertung von Segelflügen; Eisenlohr: Der Rhön-Segelflug-Wettbewerb 1923 in seiner technischen Auswertung; Everling: Zur Mechanik des Segelfluges; Bader: Die Vereinigung von Tragflügel- und Strahlentheorie zum Entwurf von Treibschrauben; Naatz: Neuere Forschungen im Luftschiffbau; Junkers: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metallflugzeugbaues; Grulich: Anforderungen an Verkehrsflugzeuge und ihre Kraftanlagen.

Abhandlungen und Vorträge auf dem Gebiete der Mathematik, Naturwissenschaft und Technik. Heft 9. **Ionen und Elektronen.** Von Dr. H. Greinacher. Leipzig und Berlin 1924, B. G. Teubner. 58 S. mit 26 Abb. Preis Gm. 1,60.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Das Gibsonsche Wassermeßverfahren.

Dem Verfasser der in Z. Nr. 15 S. 366 enthaltenen Abhandlung über das Gibsonsche Wassermeßverfahren, Herrn K. Pantell, ist bei der Ableitung von Gl. (9) ein Versehen unterlaufen. Die Gleichung muß lauten:

$$h_t = Y_T (1 - r)^2$$

Der Fehler knüpft an an die einige Zeilen vorher stehenden Worte „Für irgendeine Zeit ist die zurückgewonnene Druckhöhe proportional dem Quadrat der vernichteten Geschwindigkeit $(v_0 - v_t)$ usw." Diese Argumentation ist mechanisch unzulässig. Der Ausdruck „zurückgewonnene Druckhöhe" hat bei diesem nichtstationären Vorgange keinen Sinn, da die Bernouillische Gleichung nur für den Beharrungszustand gilt. Tatsächlich liegen die Verhältnisse wie folgt: Würde man die vom Instrument aufgezeichnete Kurve von der Linie der statischen Drücke *PM* in Abb. 1 her ausmessen, so erhielte man nur zu geringe Werte, nämlich die gesuchte Druckerhöhung, die der Verzögerung der Wassersäule in der Druckleitung entspricht, abzüglich eines Druckabfalles, der sich a) aus der Beschleunigung des Wassers am Rohreinlauf (von der Geschwindigkeit 0 auf die jeweilige Rohrgeschwindigkeit v_t) und b) aus dem Reibungswiderstand zusammensetzt. Die dem Anteil a) entsprechende Korrektur ist $\frac{v_t^2}{2g}$, die dem Anteil b) entsprechende darf ebenfalls proportional v_t^2 gesetzt werden, wobei die — wohl nur zu unmerklichen Fehlern führende — Annahme gemacht werden muß, daß der Reibungswiderstand während des Verzögerungsvorganges gleich dem während eines Beharrungszustandes bei gleicher sekundlicher Wassermenge auftretenden Reibungswiderstand und der letztere proportional dem Quadrate der sekundlichen Wassermenge ist. Insgesamt ist also die anzubringende Korrektur — Abstand h_t (in Abb. 1 ist der untere Pfeil falsch eingetragen) zwischen den Linien *PM* und *J* — dem Quadrate der jeweiligen Wassergeschwindigkeit proportional. Die Strecke *OP* gibt die Korrektur für den Beharrungszustand zu Anfang der Beobachtung an, also ist

$$h_t = \left(\frac{\text{jeweilige Wassermenge}}{\text{anfängliche Wassermenge}}\right)^2 \text{ oder } h_t = Y_T (1 - r)^2$$

Die von Gibson eingezeichnete Linie *J'* entspricht nach Angabe von Herrn Pantell (die Originalveröffentlichung liegt mir nicht vor) dieser Bedingung. Der von Herrn Pantell gegen die Gibsonsche Auswertung der Beobachtungen erhobene Vorwurf, daß sie eine um 7 vH zu geringe Wassermenge ergebe, ist deswegen unhaltbar. Dem entsprechen auch die Untersuchungsergebnisse. Die an der Niagara-Turbine gemessenen Wirkungsgrade sind ja hoch, aber nicht höher als bei der zweckmäßigen Gesamtdisposition der Anlage und den sehr günstigen hydraulischen Verhältnissen — große Abmessungen, mäßige spezifische Drehzahl, günstige Saugrohrform — erwartet werden durfte.

München, 16. April 1924. D. Thoma.

In dem Artikel „Das Gibsonsche Wassermeßverfahren" in Nr. 15 der Zeitschrift d. V. d. I. 1924 ist nach meinem Dafürhalten dem Verfasser bei der Konstruktion der Schlußlinie *OIM* des Druck-Zeit-Diagramms ein Fehler unterlaufen. Herr Pantell sagt: Die zurückgewonnene Reibungs- und Geschwindigkeitshöhe Yt ist proportional dem Quadrat der vernichteten Geschwindigkeit $(v_0 - v_t)$. Dieser Satz muß lauten: Die (noch übrigbleibende) Reibungs- und Geschwindigkeitshöhe h_t zur Zeit t ist proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit zur Zeit t, also $\frac{h_t}{Y_T} = \frac{v_t^2}{v_0^2}$. Wenn z. B. die Geschwindigkeit in der Rohrleitung sich auf die Hälfte verringert hat, ist die Reibungs- und Geschwindigkeitshöhe auf ¼ ihres ursprünglichen Wertes Y_T zurückgegangen, während nach Pantell in diesem Falle noch ¾ des anfänglichen Wertes vorhanden wäre. Die Schlußgleichung lautet demnach

$$h_t = Y_T (1 - r)^2.$$

Ich behalte mir vor, auf die Gibsonsche Wassermeßmethode später zurückzukommen, wenn die Resultate aus den Versuchen vorliegen, welche die Firma J. M. Voith mit einem neueren Apparat über die Gibsonmethode ausführen wird.

Heidenheim, 25. April 1924. Dipl.-Ing. Jos. Böck.

Zu den Zuschriften der Herren Prof. Dr.-Ing. D. Thoma und Dipl.-Ing. J. Böck möchte ich folgendes bemerken:

Beide Herren berechnen die Drucksteigerung infolge der Geschwindigkeitsabnahme während der Zeit t zu $\frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_t^2}{2g}$, d. h. als Differenz

der Geschwindigkeitshöhen. Dieser Ansatz hat zu seiner Gültigkeit die stillschweigende Voraussetzung, daß die Energiesumme Druck- + Geschwindigkeitsenergie, soweit sie für die Geschwindigkeits-Druckumsetzung in Betracht kommt, konstant bleibt; es ist dies die Bernoullische Gleichung.

Bei dem vorliegenden Schwingungszustand ist aber wohl nicht anzunehmen, daß die Gesamtenergie, d. h. Druck- + Geschwindigkeitsenergie, im betrachteten Meßquerschnitt konstant bleibt. Auch die nach erfolgtem Abschluß auftretenden Druckschwankungen bei der Geschwindigkeit null stellen reine Energieschwingungen dar. Damit ist klargelegt, daß die Anwendung der Bernoullischen Gleichung, die Prof. Thoma weiter oben selbst als nur für den Beharrungszustand gültig bezeichnet, hier nicht zulässig ist.

Es erscheint mir auch folgerichtig, bei Störung des Beharrungszustandes durch Abdrosseln der Geschwindigkeit $v = v_0 - v_t$ zunächst nur eine augenblickliche Drucksteigerung von $Y_t = \frac{v^2}{2g}$ anzunehmen (dies ist keine Anwendung der Bernoullischen Gleichung, sondern nur eine Gleichsetzung der beiden Formen derselben Energiemenge), da nicht einzusehen ist, warum die Drucksteigerung von den Absolutwerten v_0 und v_t und nicht von v abhängig sein soll. Erst die dadurch hervorgerufene Störung der Energieverteilung hat m. E. sekundär die weitere Drucksteigerung zur Folge, die, soweit sie sich ausbilden kann (bei völligem Abschluß ist dies überhaupt nicht der Fall), zeitlich nachher erfolgt und daher nicht mitgemessen wird.

Charlottenburg, 1. Mai 1924. [Z 351] Kurt Pantell.

ANGELEGENHEITEN DES VEREINES.

Wahlen und Beschlüsse der Versammlung des Vorstandsrates am 31. Mai 1924 in Hannover.

Entschließungen.

Der Vorstandsrat beschließt, der Hauptversammlung zwei Entschließungen in Sachen der Dampfkesselüberwachung und der Neuordnung des preußischen höheren Schulwesens zu unterbreiten (Wortlaut S. 664).

Wahlen:

Drei Beigeordnete im Vorstand.

Als Beigeordnete im Vorstande für die Jahre 1925, 1926 und 1927 wurden die Herren Dr.-Ing. W. Bauersfeld, Jena, Prof. D.-Ing. Junkers, Dessau, und Generaldirektor Prof. Noé, Danzig, gewählt.

Der Vorstand hat an Stelle des Hrn. Direktor Dr. Werner, Vertreters des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, Hrn. Generaldirektor Krone, Bochum, als Beigeordneten für die Jahre 1925, 1926 und 1927 gewählt.

Wahlausschuß.

Zu Mitgliedern des Wahlausschusses wurden gewählt die Herren: Eppner, Bayern; Hussmann, Emscher; Heil, Oberschlesien; Kloth, Köln; Rohrbach, Mittelthüringen; Treptow, Berlin; Treutler, Aachen.

Zu stellvertretenden Mitgliedern des Wahlausschusses wurden gewählt die Herren: Braun, Karlsruhe; Fesenfeld, Unterweser; Strauss, Zwickau; Hartmann, Hessen; Meng, Dresden; Sehmer, Saarbrücken; Wever, Niederrhein.

Kuratorium der Ingenieurhilfe.

Als Mitglieder des Kuratoriums der Ingenieurhilfe für die Jahre 1925, 1926 und 1927 werden gewählt die Herren Hellmich, Berlin, und Th. Grothe, Bochum.

Änderung der Satzungen:

Verminderung der Mitgliederzahl des Vorstandsrates.

Der Vorstand zieht seinen Antrag auf Änderung von § 31 der Satzung zurück. Der Vorstandsrat beschließt, für 1925 das für 1924 angewendete Verfahren beizubehalten.

Lieferung der Mittwochausgabe anstatt der Sonnabendausgabe der Zeitschrift.

Der Vorstandsrat beschließt, der Hauptversammlung zu empfehlen, daß der Vorstand bevollmächtigt wird, für 1925 über die Zeitschriftenlieferung nach eigenem Ermessen zu befinden.

Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern.

Der Vorstandsrat beschließt, der Hauptversammlung zu empfehlen, zu § 23 Absatz 4 der Satzung folgenden Zusatz aufzunehmen:

„Diese Bestimmung gilt nicht für die Wahl zum Vorsitzenden des Vereines mit der Einschränkung, daß der jeweilige Vorsitzende nach Ablauf seiner Amtszeit nicht sofort wieder wählbar ist."

Feststellung des an die Bezirksvereine im Jahre 1924 zu überweisenden Anteils von Mitgliedbeiträgen.

Die n-Formel wird für 1924 außer Kraft gesetzt. An die Bezirksvereine werden für 1924 5 ℳ je zahlendes Mitglied überwiesen; es sollen jedoch 1,50 ℳ je Mitglied, das die Nachzahlung leistet, in einen Fonds zur Unterstützung namentlich kleinerer Bezirksvereine abgeführt werden.

Beitrag für 1924/25.

Der Vorstandsrat beschließt, für 1924 von sämtlichen Mitgliedern des Vereines in Deutschland einen Beitrag von 6 ℳ nachzuerheben.

Die Festsetzung des Beitrages für 1925 wird dem Ermessen des Vorstandes überlassen.

Antrag des Lausitzer Bezirksvereines. Erhebung der Sonderbeiträge der Bezirksvereine.

Der Vorstandsrat stimmt dem Antrage des Lausitzer Bezirksvereines zu, daß der Gesamtverein wieder, wie in früheren Zeiten, Sonderbeiträge, die die Bezirksvereine zu erheben wünschen, mit einnimmt.

Anerkennung der Ortsgruppe Osnabrück als Bezirksverein.

Die Ortsgruppe Osnabrück wird als Bezirksverein anerkannt.

Festsetzung der Reisekosten und Tagegelder.

Der Vorstandsrat beschließt, daß für Reisekosten und Tagegelder bis auf weiteres die Friedenssätze Anwendung finden.

Fortbestand der Ingenieurhilfe.

Der Vorstandsrat genehmigt den Fortbestand der Ingenieurhilfe für die nächsten fünf Jahre.

Geschäftliche Angelegenheiten.

Bericht der Rechnungsprüfer. Rechnungen der Jahre 1922 und 1923.

Der Vorstandsrat schlägt der Hauptversammlung vor, die Rechnungen der Jahre 1922 und 1923 zu genehmigen und dem Vorstand Entlastung zu erteilen.

Ort der nächsten Hauptversammlung.

Der Vorstandsrat beschließt, daß die Hauptversammlung 1925 am 9., 10. und 11. Mai in Augsburg-München stattfindet.

Wahlen und Beschlüsse der 63. Hauptversammlung am 1. Juni 1924 in Hannover.

Ehrungen.

Die Hauptversammlung beschließt einstimmig, dem Wirkl. Geh. Oberbaurat a. D. Dr. phil., Dr.-Ing. eh. Hermann Zimmermann, Berlin, die Grashof-Denkmünze zu verleihen.

Bericht der Rechnungsprüfer. Genehmigung der Rechnungen der Jahre 1922 und 1923 und Entlastung des Vorstandes.

Die Hauptversammlung genehmigt die Rechnungen der Jahre 1922 und 1923 und erteilt dem Vorstand Entlastung.

Wahl zweier Rechnungsprüfer und ihrer Stellvertreter für die Rechnung des Jahres 1924.

Die Hauptversammlung wählt zu Rechnungsprüfern die Herren Fabrikbesitzer E. Becker, Berlin, und Generaldirektor M. Wolf, Magdeburg, zu Stellvertretern der Rechnungsprüfer die Herren Direktor Johannes Körting, Düsseldorf, und Prokurist W. O. Müller, München.

Anträge auf Änderung der Satzung. Änderung des § 23.

Die Hauptversammlung genehmigt den vom Vorstandsrat vorgeschlagenen Zusatz zu § 23 Abs. 4 der Satzung.

Entgegennahme und Besprechung des Berichtes über die Verhandlungen, Wahlen und Beschlüsse des Vorstandsrates.

Eine Zurückverweisung der Beschlüsse des Vorstandsrates erfolgt nicht. Die Beschlüsse des Vorstandsrates sind daher als endgültig anzusehen.

Bestätigung der mit schriftlicher Abstimmung im Vorstandsrat gefaßten Beschlüsse vom Oktober 1923.

Der Ausfall der Versammlung des Vorstandsrates 1923 wird nachträglich genehmigt.

Entschließung zur Organisation der Dampfkessel-Überwachung.

Die Hauptversammlung faßt auf Vorschlag des Vorstandsrates folgende Entschließung an den Preußischen Landtag:

„Der Preußische Minister für Handel und Gewerbe hat angeordnet, daß von jedem Dampfkessel-Überwachungsverein Betriebskontrolleure aus dem Heizerstand auf Vorschlag der örtlich maßgebenden Gewerkschaften eingestellt werden, und daß bei jedem Dampfkessel-Überwachungsverein ein Arbeitsausschuß für Dampfkessel-Überwachung unter Beteiligung der Arbeitnehmerorganisationen errichtet wird. Für den Fall, daß die Überwachungsvereine nicht innerhalb einer bestimmten Frist den Anordnungen des Ministers Folge leisten, hat er ihnen die Entziehung der von ihnen wahrgenommenen obrigkeitlichen Überwachungsbefugnisse in Aussicht gestellt.

Gegen diese Maßnahmen haben der Zentralverband der Preußischen Dampfkessel-Überwachungsvereine, führende wirtschaftliche und technisch-wissenschaftliche Verbände in eingehend begründeten Entschließungen Stellung genommen. Innerhalb des Vereines deutscher Ingenieure haben sich sämtliche (31) Bezirksvereine, die sich zur Sache geäußert haben, in ablehnendem Sinne ausgesprochen. Auch die Beratung der zum Vorstandsrat am 31. Mai d. J. in Hannover versammelten Abgeordneten sämtlicher 48 Bezirksvereine des Vereins deutscher Ingenieure hat einstimmig zu dem gleichen ablehnenden Ergebnis geführt, und zwar im wesentlichen aus folgenden Erwägungen:

Die Maßnahmen des preußischen Herrn Handelsministers sind nicht veranlaßt durch Mißstände innerhalb der Kesselüberwachung, die sich in ihrer jetzigen Organisation aufs beste bewährt hat und für das Ausland vorbildlich geworden ist, sondern durch das Drängen des freigewerkschaftlichen Zentralverbandes der Maschinisten und Heizer, der als das Ziel die Verstaatlichung der Kesselüberwachung bezeichnet hat. Wenn auch der Minister die äußerste Forderung zurückgewiesen hat, so hat er doch unzweideutig erklärt, daß die von ihm geplanten Einrichtungen nicht aus den Notwendigkeiten der Kesselüberwachung, sondern aus politischen Erwägungen hervorgegangen seien. Diese Erwägungen gehen indessen insofern fehl, als sie Gedankengänge, die für Wirtschafts- und sozialpolitische Fragen ihre Berechtigung haben mögen, schematisch auf das seinem Wesen nach außerhalb jeder Politik stehende technische Gebiet der Kesselüberwachung übertragen. Die Einschaltung von politischen Körperschaften in die Kesselüberwachung muß unzweifelhaft zu Störungen führen, die gerade jetzt verhängnisvoll wirken müssen, wo alle am Dampfkesselwesen beteiligten fachlichen Kräfte aufs äußerste angespannt sind, um die Fortschritte der wissenschaftlichen Technik ohne Beeinträchtigung der vollen Betriebsicherheit für den deutschen Kesselbau auszuwerten.

Hinzu kommt, daß die neuen Einrichtungen zu einer Überorganisation schlimmster Art führen würden. Schon jetzt wirken neben dem Überwachungsverein für den Arbeiterschutz in Kesselhäusern das Gewerbeaufsichtsamt, dem Angestellte aus dem Arbeiterstande beigegeben sind, die Berufsgenossenschaft, die Gesundheits-, Bau- und Feuerpolizei, die Ortspolizei, der Betriebsrat und nicht zuletzt die trotz aller behördlichen Aufsicht mit voller Verantwortung belastete Betriebsleitung. Angesichts dieser Fülle an Aufsichtsorganen hat das Preußische Handelsministerium selbst bislang den Überwachungsvereinen gegenüber immer wieder betont, daß sie gewerbepolizeiliche Aufgaben nicht wahrzunehmen hätten. Das Dampfkesselwesen steht gerade heute in einer so überaus vorwärtsdrängenden Entwicklung, daß es viel richtiger wäre, den bisherigen Standpunkt des Preußischen Handelsministeriums noch stärker zu betonen und die Überwachungsvereine für ihre Betätigung in Richtung des Arbeiterschutzes, für den im übrigen hinreichend gesorgt ist, noch weiter zu entlasten.

Anstatt endlich eine organisatorische Entwicklung der Aufsichtstätigkeit für den Arbeiterschutz unter Einschränkung der zahlreichen vorhandenen Instanzen anzubahnen, sollen wieder neue Organe unter Hinzuziehung politischer Organisationen angeflickt werden. Das weitere Aufblähen des Kontrollapparates innerhalb der Staatsverwaltung muß grundsätzlich vermieden werden, wenn nicht schließlich jedes verantwortungsfreudige Schaffen erstickt werden soll.

In gleicher Weise sind die geplanten Arbeitsausschüsse bei den Überwachungsvereinen zu verwerfen. Schon jetzt sind alle wirklichen sachverständigen Kräfte des Dampfkesselwesens außerhalb ihrer an sich stark belasteten Berufstätigkeit durch die Arbeit in wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Körperschaften derart in Anspruch genommen, daß es kaum noch gelingt, die wichtigsten Aufgaben für die Entwicklung der Dampfkesseltechnik einer Lösung zuzuführen. Es bedeutet einen Raubbau an unseren besten Kräften, wenn ihnen durch immer neue Parlamente erneute Belastung zugewiesen wird, die sie ihrer beruflichen Tätigkeit entzieht.

Es ist auf das tiefste zu bedauern, daß das Vorgehen des Preußischen Handelsministers in den Beamtenkörper der Überwachungsvereine schwerste Erschütterung gebracht hat. Die in der Kesselüberwachung tätigen Fachgenossen sind von dem Bewußtsein der durch ihren Eid übernommenen Pflichten voll durchdrungen und haben keinen Anlaß zu Zweifeln an der einwandfreien Erledigung ihrer Berufstätigkeit gegeben, in denen die Notwendigkeit neuer Kontrollorgane begründet sein könnte. Sie müssen in ihrem Gewissen aufs schwerste beunruhigt werden, wenn von ihnen, wie geschehen, während des Bestehens des Dienstverhältnisses zu ihrem jetzigen Arbeitgeber die Erklärung gefordert wird, ob sie bereit sind, als Sachverständige für den Staat tätig zu sein. Daß die hierbei seitens des Herrn Handelsministers gemachten Versprechungen (Gleichstellung mit den Beamten bestimmter Gehaltsklassen, Alters- und Hinterbliebenenversorgung) ohne Zustimmung des preußischen Finanzministers erfolgt sind, darf als feststehend angenommen werden.

Schließlich muß es als unerträglich bezeichnet werden, daß es dem Gutdünken eines Ressortministers überlassen bleiben soll, übertragene obrigkeitliche Befugnisse aus Anlässen zu entziehen, die mit der eigentlichen Ausübung dieser Befugnisse keinen unmittelbaren Zusammenhang haben. Ein solcher Zustand kann nicht als Grundlage für die gesunde Entwicklung einer dem Gesamtwohl wirklich förderlichen Selbstverwaltung angesehen werden.

Aus allen diesen Erwägungen beschließt die 63. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure,

den Hohen Preußischen Landtag zu bitten,

1. den preußischen Herrn Minister für Handel und Gewerbe zu veranlassen, daß er die bewährte Organisation der Dampfkesselüberwachung ungeändert bestehen läßt und insbesondere auf die Hineinziehung politischer Organisationen in die Dampfkesselüberwachung verzichtet;
2. dafür zu sorgen, daß von den Dampfkessel-Überwachungsvereinen die von ihnen wahrgenommenen obrigkeitlichen Befugnisse nur durch einen Beschluß des Staatsministeriums im Falle nachgewiesener grober Pflichtverletzung entzogen werden können."

Außerdem gelangt eine Entschließung zur Annahme, die folgenden Wortlaut hat:

Entschließung zur Neuordnung des preußischen höheren Schulwesens.

Gegen die überstürzte und ohne Anhören der einschlägigen Berufskreise erfolgte Einführung der Neuordnung des preußischen höheren Schulwesens wird nachdrücklich Einspruch erhoben.

Es steht zu befürchten, daß die getroffenen Änderungen in dem höheren Schulwesen für viele zu einer Verlängerung des Studiums führen werden.

Die scharfe Differenzierung der Bildungsziele für die einzelnen Schularten, wie sie in der Denkschrift des Preußischen Ministeriums für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung zum Ausdruck gelangt, wird dazu führen, daß die Absolventen der höheren Schulen für das spätere Leben einseitig eingestellt und untereinander bildungsfremd werden. Hierdurch wird dem Kastengeist neue Nahrung zugeführt.

Bei der ungemein weitreichenden Bedeutung dieser Fragen muß mit aller Entschiedenheit vor endgültiger Durchführung eine eingehende Beratung unter Zuziehung von Sachverständigen aus den verschiedenen Berufskreisen gefordert werden. [M 463]

Schluß des Textteiles.

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

★ SCHRIFTLEITER: C. MATSCHOSS ★

NR. 26 SONNABEND, 28. JUNI 1924 BD. 68

INHALT

Hauptschacht-Gefäßförderungen.

Von Dipl.-Ing. L. Schütt, Oberingenieur der Gesellschaft für Förderanlagen Ernst Heckel m. b. H. Saarbrücken.

Nach einer Erörterung der Vorteile der Gefäßförderung als Hauptschachtförderung werden die Anlagen bei Caen (Frankreich) für 250 bis 300 t/h Förderleistung bei 900 m schräger Teufe und bei Diedenhofen für ebenfalls 250 bis 300 t/h Förderleistung bei 100 m senkrechter Teufe dargestellt. Aussichten der Gefäßförderung für Salz- und Kohlengruben. Erörterung der Schwierigkeiten des Förderverfahrens.

Gefäßförderungen, d. h. Kübelförderungen mit selbsttätiger Entleerung am oberen Hubende (Skip-Förderungen) waren in Europa bisher hauptsächlich nur in Gebrauch für kleine Leistungen und Geschwindigkeiten als Aufzüge für Hochofenbegichtung, Aschenförderung in Kesselhäusern, Haldenbeschickung usw. In Nordamerika und Südafrika hatte man bereits seit langem erkannt, welche bedeutenden Vorteile diese Förderart bietet, wenn man sie als Hauptschachtförderung verwendet. Im Vergleich zu der in Europa fast ausschließlich zu diesem Zweck bisher in Frage kommenden Korb- oder Gestellförderung, bei der die Grubenhunte selbst zu Tage gefördert werden, sind diese Vorteile kurz zusammengefaßt, folgende:

1. Verminderung der toten Lasten im Verhältnis zur geförderten Nutzlast und hiermit die Möglichkeit der Verwendung eines schwächeren Seiles, kleinerer Seilscheiben, eines kleineren Trommeldurchmessers der Fördermaschine, wodurch das Anlagekapital wesentlich vermindert oder bei gleichem Seildurchmesser die Erreichung einer größeren Fördertiefe ermöglicht wird.

2. Verkürzung der Pause für das Beladen des Schachtfördergefässes auf die denkbar kürzeste Zeit von 6 bis 8 s (Korbförderung durchschnittlich 30 bis 50 s), daher Vergrößerung der Förderleistung, bessere Ausnützung der ganzen Förderanlage.

3. Kleinerer Schachtquerschnitt für die gleiche Leistung, was abermals eine Verbilligung der Anlage zur Folge hat.

4. Verminderung der zur Bedienung der Anlage erforderlichen Zahl an Mannschaften, da das umständliche Aufschieben und Abziehen der Wagen vom Gestell wegfällt, wofür sowohl an der Beladestelle (am Füllort) als auch an der Abzugstelle (an der Hängebank) eine größere Zahl von Leuten notwendig ist. Bei den im folgenden beschriebenen Anlagen ist an der Füllstelle nur ein einziger Mann zur Bedienung der Fülleinrichtung und übertage überhaupt keine Bedienung erforderlich, abgesehen vom Fördermaschinisten. Hieraus ergibt sich eine Herabsetzung der Förderkosten und Verminderung der Zahl der Unglücksfälle, da erfahrungsgemäß bei der Bedienung der Gestelle am Füllort und an der Hängebank viele Unglücksfälle vorkommen.

Die für das Entleeren der Grubenwagen in die unterirdischen Füllrümpfe erforderlichen Mannschaften sind in gleicher Weise bei der Gefäß- und Korbförderung notwendig, da ja auch bei der letzteren die Grubenwagen an irgendeiner Stelle, wenn auch übertage, entleert werden müssen. Sie zählen nicht zur Bedienungsmannschaft der Schachtförderung.

5. Die Zahl der im Gebrauch befindlichen, in Ordnung zu haltenden Grubenwagen ist geringer, da sie nur unter Tage verkehren.

6. Durch die unterirdischen Füllrümpfe wird eine Ausgleicheinrichtung geschaffen, welche die Schachtförderung bis zu einem gewissen Grade von der Wagenzufuhr zum Schacht (Streckenförderung) unabhängig macht, sodaß eine Störung bei der einen nicht auch gleich eine Störung bei der andern zur Folge hat. Abstellstrecken für Grubenwagen bei der Gestellförderung würden unter sonst gleichen Bedingungen weit größere auszusprengende Räume und einen viel umständlicheren Betrieb erfordern.

7. Die Bemessung der Grubenwagen ist von der Schachtförderung fast unabhängig, und es braucht hierbei in der Hauptsache nur auf die Erfordernisse in den Strecken und Abbauörtern Rücksicht genommen werden.

Diesen Vorteilen stehen in besonderen Fällen auch gewisse Nachteile gegenüber, die je nach den örtlichen Verhältnissen mehr oder weniger in Erscheinung treten, deren Erörterung hier aber zu weit führen würde.

In Europa hatte die Gefäßförderung für diesen Zweck bisher wenig Eingang gefunden. Meines Wissens sind nur einige wenige Anlagen als Hauptschachtförderungen in Europa in Betrieb, z. B. Grängesberg in Schweden (siehe Spackeler, „Schwedens Eisensteinbergbau", Glückauf 1909 S. 473), die aber anscheinend von einer außereuropäischen Fabrik geliefert wurden. Wahrscheinlich werden noch einige andere kleinere Anlagen im Erz- und Salzbergbau mit Gefäßförderung in Betrieb sein, ohne aber als Hauptschachtförderung gelten zu können. Demnach würden die beiden weiter unten näher beschriebenen Anlagen die ersten Gefäßförderungen für Hauptschachtbetrieb sein, die in Europa gebaut und in Betrieb sind. Beide Anlagen wurden von der Gesellschaft für Förderanlagen Ernst Heckel m. b. H., Saarbrücken, geliefert.

Die Hauptschwierigkeit bestand darin, die Gefäßförderung den besondern Bedingungen der Schachtförderung anzupassen, mit ihren weit größeren Geschwindigkeiten und Nutzlasten, weit größeren Ansprüchen an die Betriebsicherheit, Einfachheit der Konstruktion und Bedienung, ihren ungünstigeren Bahnneigungen (bei der ersten Anlage die außergewöhnlich flache Neigung von 30°, bei der zweiten eine genau senkrechte), der Berücksichtigung der bergpolizeilichen Vorschriften bezüglich Übertreibmöglichkeit, Seilsicherheit, Fangvorrichtungen usw. Eine der allerwichtigsten Bedingungen bestand darin, den erforderlichen Schachtquerschnitt auf das äußerste Maß herabzusetzen. Irgendwelche Erfahrungswerte mit dieser neuen Förderart lagen nicht vor. Die nordamerikanischen und südafrikanischen Ausführungen konnten nicht ohne weiteres als Vorbild dienen, da die Verhältnisse in Europa von denen in den angegebenen Ländern zu sehr verschieden sind, insbesondere auch, weil von den Behörden in Europa viel strengere Sicherheitsvorkehrungen verlangt werden als dort. Beide Anlagen haben vom Anfang ihrer Inbetriebsetzung an allen an sie gestellten Anforderungen aufs beste entsprochen.

Die Anlage in Caen.

Die erste Anlage, „Mines de Soumont", befindet sich in Nordfrankreich, Provinz Calvados, in der Nähe der Stadt Caen (vergl. Le Génie Civil 1913, S. 344). Das zu fördernde Eisenerz ist ein Karbonat von granitartiger Härte und Scharfkantigkeit mit etwa 20 vH Stücken von mehr als 300 mm Größe, hierunter vertragsgemäß solche bis zu 700 mm Kantenlänge und 200 kg Gewicht.

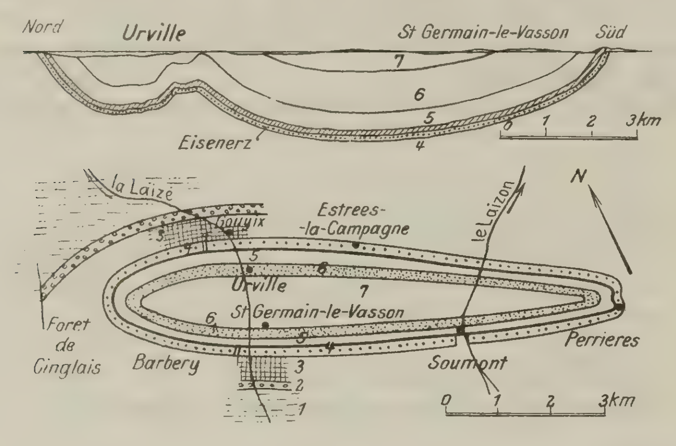


Abb. 1 und 2.
Geologische Karte des Erzgebietes von Soumont und Urville.

1. Vorkambrisches Gebirge,
2. purpurfarbiger Puddingstein,
3. schiefer- und feldspathaltiger Sandstein,
4. armorikanischer Sandstein,
5. Schiefer und Eisenerz,
6. Sandstein,
7. Schiefer, gothländisch:
die Ablagerungen des Jura sind nicht eingetragen.

Diese Stücke boten der konstruktiven Durchbildung ganz bedeutende Schwierigkeiten, besonders mit Rücksicht auf die Forderung eines möglichst kleinen Schachtquerschnittes, der natürlich durch die Abmessungen der Fördergefäße wesentlich bedingt ist, sowie auch mit Rücksicht auf die Ausbildung möglichst nie versagender Füllrümpfverschlüsse. Es handelt sich um den Abbau eines Teiles eines muldenförmig gelagerten Erzvorkommens, Abb. 1 u. 2. das bereits durch zwei am Rande der Mulde unter 30° gegen die Wagerechte geneigte, im Flöz verlaufende parallele Schrägschächte aufgeschlossen war, in denen aber nur eine Förderung von ganz geringer Leistung bestand. Es sollte nunmehr zur Einrichtung einer leistungsfähigen, nach neuzeitlichen Gesichtspunkten ausgebildeten Grubenanlage übergegangen werden.

Für die Neuanlage waren außerordentlich scharfe Bedingungen gestellt, und zwar wurde die Gewähr einer Leistung von mindestens 250 t/h von jeder der vier Abbausohlen bis zu 880 m schräg gemessener Teufe verlangt. Um das Abteufen eines neuen senkrechten Schachtes zu ersparen, sollte man einen der beiden vorhandenen Schrägschächte zur Förderung benutzen. Damit weiterhin die Ausmauerung dieses Schachtes, der ohne eine solche in festem Gestein steht, erübrigt wurde, durfte die Förderung keinen größeren Querschnitt als 3,5 m Breite und 2,2 m Höhe beanspruchen. Die Schachtförderung mußte auch für die Mannschaftsfahrt eingerichtet sein und dementsprechend ausgebildet werden. Der Abbau erfolgt zweiflügelig, infolgedessen müssen die Grubenwagen dem Schacht von zwei Seiten her zugeführt werden, und zwar mit je einer Leistung von 125 t/h. Es wurde anfänglich angenommen, daß das Erz auf den beiden Flügeln verschiedener Art sei. Die beiden Sorten sollten daher getrennt gehalten und getrennt in die Eisenbahnwagen verladen werden können. Über Tage war außerdem eine Stapelanlage anzuordnen, die die Förderleistung eines ganzen Jahres von etwa 600 000 t aufzunehmen hatte.

Die 1914 gelieferte Anlage entspricht den gegebenen Bedingungen; insbesondere muß erwähnt werden, daß es mit keiner andern Förderart, sei es Gestellförderung oder Hängebahn, möglich gewesen wäre, die verlangte Leistung ohne Überschreitung eines so kleinen Schachtquerschnittes von $2{,}3 \times 3{,}5$ m² zu erreichen. Der vollständige Mangel an Erfahrung mit Gefäßförderungen für Hauptschachtbetrieb ließ ihre Anwendung so sehr als Wagnis erscheinen, daß allen Ernstes das Abteufen eines neuen senkrechten Schachtes in Erwägung gezogen wurde. Schließlich siegte das Vertrauen zu der vorgeschlagenen Einrichtung, einer Gefäßförderung.

Für die Beurteilung einer solchen Schachtförderung genügt es aber nicht, die eigentlichen maschinellen Schachtfördereinrichtungen zu kennen, es ist unumgänglich notwendig zu wissen, wie diese mit den übrigen Einrichtungen der Grube zusammenarbeiten, da der ganze Grubenbetrieb darauf eingestellt werden muß. Die Zuführung des Fördergutes zum Schacht, die Behandlung des Gutes an den Schachtfüllörtern, ferner die Verladeeinrichtungen und die Ausbildung der Grubeneinrichtung über Tage sind von größter Wichtigkeit.

Die Grube besteht in der Hauptsache aus drei getrennten Förderanlagen:

Abb. 3 bis 5.
Schrägschacht-Gefäßförderung „Mines de Soumont" für 300 t/h Leistung aus 900 m schräger Teufe bei 32° Einfallen. Grubeneinrichtung untertage.

Abb. 3.

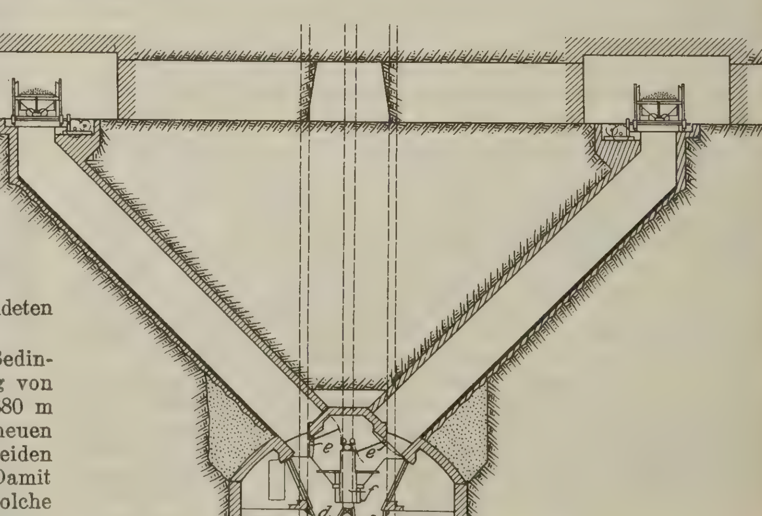


Abb. 4.

1. Zwei Seilförderungen, der vorläufig nur auf der ersten in Angriff zu nehmenden Abbausohle zur Herbeiführung der Grubenwagen von den Abbaustellen zum Schacht sowie der Einrichtungen zum Wägen und Entleeren der Grubenwagen in zwei getrennte Füllrümpfe von je 125 t Inhalt, Abb. 3 bis 5.

2. der Schachtförderung mit Gefäßen nebst den Einrichtungen zum Füllen und Entleeren der Gefäße, Abb. 6 bis 11. Abb. 6 gibt ein Bild der Übertageanlage.

3. einer Turm-Drahtseilbahn, Bauart Heckel, zur Beschickung der Halde. Abb. 12 zeigt die Entladeschleife und Gefäß in Entladestellung.

Für den erwähnten zweiflügeligen Abbau wurden auf jeder der vier Abbausohlen zwei bodenständige Streckenförderungen mit Seil ohne Ende gewählt, für jeden Flügel eine für sich getrennte Anlage, von denen indessen für die ersten 10 Jahre des Abbaues vorläufig nur diejenigen auf der 400 m-Sohle ausgebaut wurden. Für die andern Abbausohlen ist der Einbau der genau gleichen Einrichtung vorgesehen. Die betreffenden, im Flöz verlaufenden Strecken von 4 m Breite, 2 m Höhe und 6 vH Gefälle zum Schacht hin bestand bereits in zweigleisiger Anordnung. Von den beiden Endstellen der Seilförderungen wurde anfänglich die eine 977 m und die andere 658 m vom Schacht entfernt angeordnet, so daß die anfängliche Gesamtlänge beider Förderungen 1635 m beträgt. Mit vorschreitendem Abbau wurden die Endstellen weiter vom Schacht abgerückt. Die Wagen werden mit je einem endlosen mit 0,5 m/s sich bewegenden Seil von 22 mm Dicke mitgenommen, das durch rd. 40 Hochhaltestellen in etwa 1,8 m Höhe gehalten wird, damit die in den Stollen gleichfalls verkehrenden Grubenlokomotiven ungehindert darunter können.



Abb. 6. Oberirdische Grubeneinrichtung der Schrägschacht-Gefäßförderung der „Mines de Soumont".

An dieses Zugseil werden die Grubenwagen mittels eines bereits bei vielen Anlagen bestens bewährten Keilseilschlosses, Abb. 13, angeschlagen. Der Erzwagen ist durch eine Kuppelkette mit dem Seilschloß verbunden. Die Nutzlast der Wagen beträgt rd. 1150 kg, sodaß zur Erreichung der bedungenen Leistung rd. 1200 Grubenwagen in 8 h bzw. 150 in 1 h angeschlagen und befördert werden müssen, und zwar von jeder der beiden Förderungen. Das An- und Abschlagen der Wagen kann an jeder beliebigen Stelle der Strecke vorgenommen werden. Die Zu- und Abführung der Wagen findet indessen nur von einer Seite her statt, weil sich nur auf der einen Seite die in Betracht kommenden Abbaustellen befinden. Um an den Anschlagstellen zu vermeiden, daß die Grubenwagen des einen Gleises das andre kreuzen, hat man vorgezogen, sämtliche Wagen um die Endstelle herumfahren zu lassen. Sie brauchen dabei nach der Heckelschen Anordnung nicht vom Seil losgekuppelt zu werden. Es ist somit an diesen Endstellen keine Bedienungsmannschaft erforderlich.

Die Strecke selbst ist keineswegs gerade, sondern von zahlreichen Kurven und Krümmungen unterbrochen, sodaß 10 Kurvenstellen angeordnet werden mußten, die ebenfalls ohne Loskuppeln der Wagen durchfahren werden. Die beiden Antriebe für die Bewegungserzeugung der beiden endlosen, in sich zurücklaufenden Seile hat man in der Nähe des Schachtes nebeneinander angeordnet, um eine gemeinschaftliche Beaufsichtigung an leicht zugänglicher und erreichbarer Stelle zu erhalten. Die Antriebselektromotoren haben 50 PS Leistung und können auf den benachbarten Antrieb gegenseitig umgeschaltet werden, so daß sie einander nur als Aushilfe dienen. Die Antriebscheiben sind zur Schonung der Seile mit Holzfütterung versehen.

Am Schacht angekommen, werden die beladenen Erzwagen von dem hier hochgeführten Förderseil abgekuppelt, um dann unter Ausnützung des natürlichen Gefälles selbsttätig einer kleinen Unterkettenförderung mit Nasen zuzulaufen, welche die Wagen in langsamer Fahrt über eine selbsttätige Wage (*l*, Abb. 3) mit selbsttätiger Aufzeichnung der einzelnen Wagengewichte führt. Diese Wägeeinrichtung ist für beide Förderungen gemeinsam.

Nach Verlassen der Wage laufen die Wagen, durch eine mit der Hand betätigte Spitzweiche verteilt, mit natürlichem Gefälle zwei Kreiselwipperpaaren zu, die oberhalb der Mündung je eines schrägschachtförmigen Füllrumpfes *a*, Abb. 3, angeordnet sind. Diese haben jeder ein Fassungsvermögen, das der stündlichen Leistung einer jeden Seilbahn entspricht, d. h. etwa 125 t Jeder der zwei Füllrümpfe war ursprünglich zur Aufnahme einer besondern Erzsorte bestimmt. Die Wipper sind mit elektrischem Antrieb versehen und werden von einem Maschinisten gesteuert. Mit einem Wipperpaar ist es leicht, in 1 min. 5 beladene Erzwagen in den Füllrumpf zu entleeren. Die beladenen Erzwagen laufen mit Gefälle selbsttätig in die Wipper ein, stoßen dabei gleichzeitig die darin befindlichen leeren Wagen auf der andern Seite heraus. Durch Betätigung eines Handhebels werden die Wippertrommeln in Umdrehung versetzt. Sie entleeren und richten die Wagen wieder auf und kommen dann selbsttätig zum Stillstand. Die entleerten Wagen laufen mit Gefäll einer Kettenbahn *b—c*, Abb. 3, von 6 vH Steigung und 35 m Länge zu, durch welche die Wagen wieder etwas über das ursprüngliche Streckenniveau zurückgehoben werden. Von der Endstelle rollen die

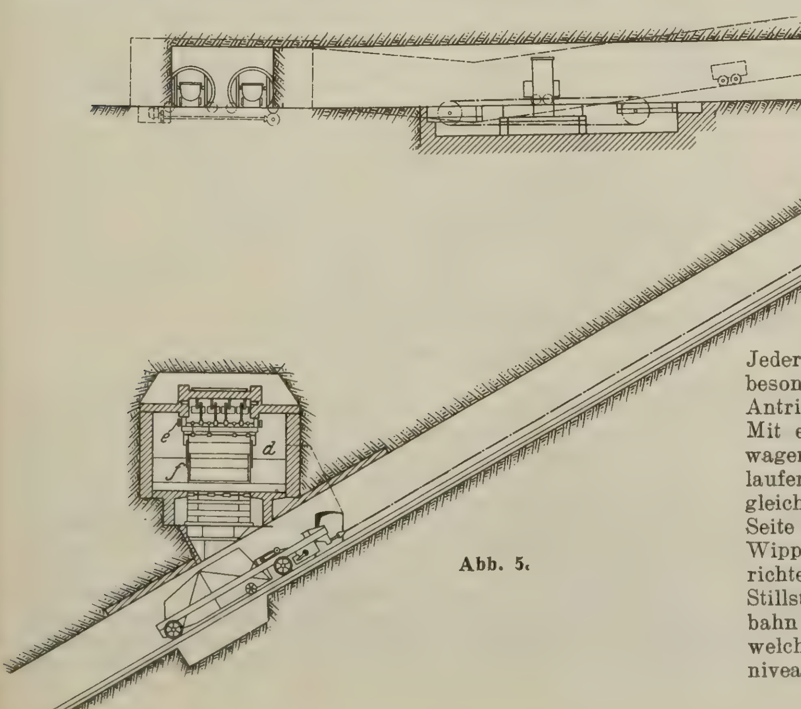


Abb. 5.

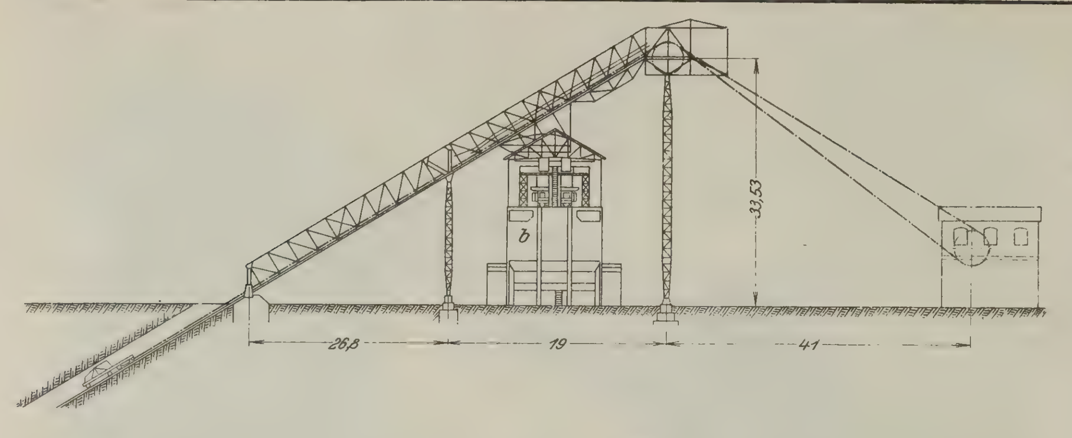


Abb. 7 bis 11. Schrägschacht-Gefäßförderung „Mines de Soumont“ für 300 t/h Leistung aus 900 m schräger Teufe bei 32° Einfallen. Grubeneinrichtung übertage.

leeren Erzwagen abermalig unter Gefälle derjenigen Seilförderung zu, zu welcher sie gehören. Im Hauptstollen wieder angelangt, werden sie auf dem Leergleis der Seilförderung durch einen Arbeiter an die Seilbahn angehängt, um auf diesem Wege wieder zur Abbaustelle zu gelangen.

Aus den vorstehend erwähnten beiden Bunkern, deren Zweck und Vorteile oben dargelegt worden sind, wird die Schachtförderung mit Kippgefäßen gespeist. Sie vereinigen sich an ihren untern Enden über zwei Meßfüllrümpfen *d*, Abb. 4 u. 5, von denen jeder ein Fassungsvermögen von 8 t hat, was einer Gefäßladung entspricht. Aus den Ausgleichbunkern kann das Erz in die zugehörigen Meßfüllrümpfe vermittels besonders ausgebildeter Klappen oder Fingerverschlüsse *e*, Abb. 4 u. 5, abgezogen werden. Da von dem sicheren Arbeiten dieser Verschlüsse die Betriebsicherheit der ganzen Anlage abhängt, so ist auf ihre Auswahl die größte Sorgfalt gelegt worden. Die hier verwendeten Verschlüsse gestatten einerseits, die Menge des herausfließenden Erzes genau zu regeln und im gegebenen Augenblick schnell und sicher abzustoppen, ohne daß zwischen die Verschlüsse geklemmte Erzbrocken dies verhindern, anderseits ist ein Festsetzen der Erzbrocken bzw. ein Zusetzen der Ausflußöffnung so gut wie ausgeschlossen, sodaß Stochern und Nachhelfen nie erforderlich wird. Die Verschlüsse wurden von der Firma Züblin in Straßburg geliefert.

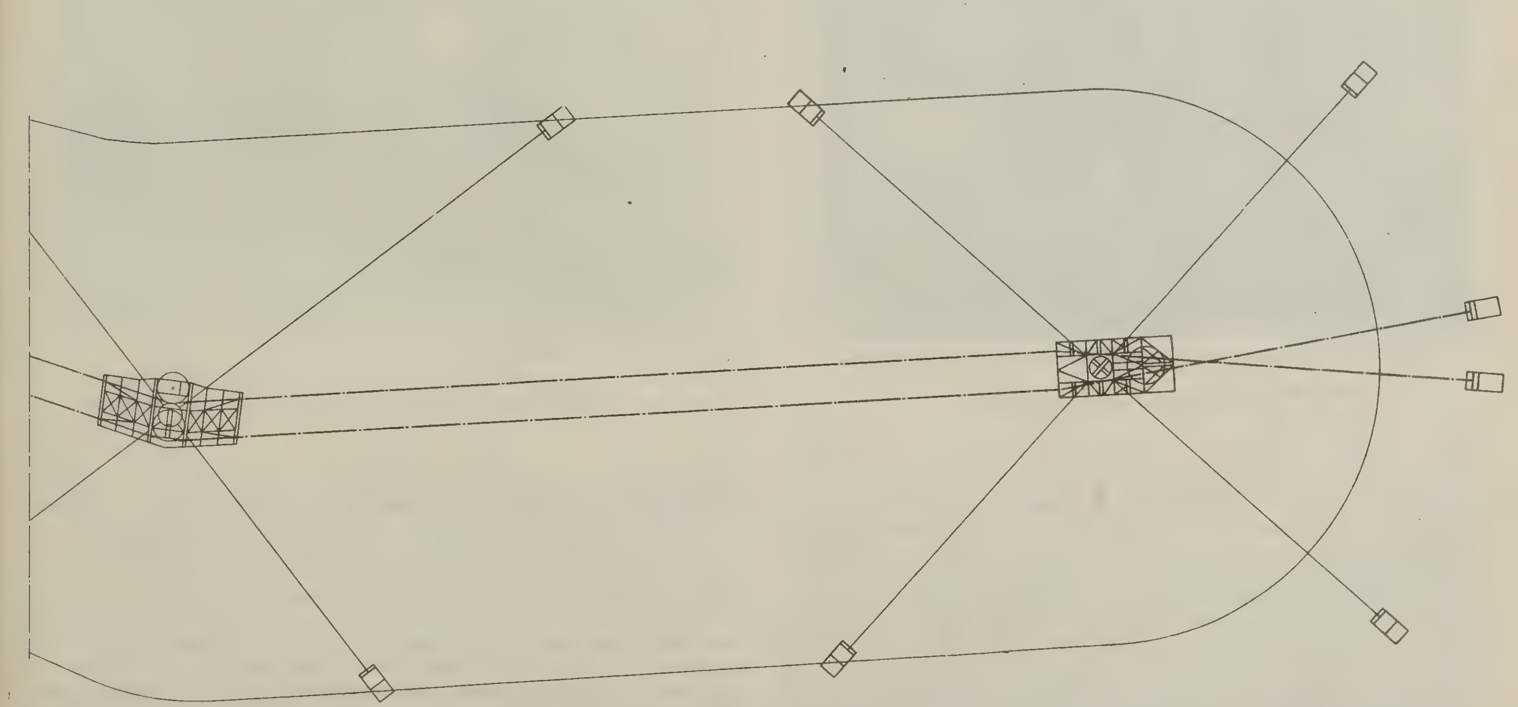
Fördermaschine

Schachtmündung

Abb. 11. Schnitt a—b.

Der Verschluß der Meßfüllrümpfe ist dagegen nur als einfache Doppelklappe ausgebildet, da ein Regeln der Erzmenge hier nicht erforderlich ist und sie nur geschlossen wird, wenn der Meßfüllrumpf vollständig entleert ist. Beim Öffnen fällt der

Abb. 8. Entladestelle des Fördergerüstes.



ganze Inhalt mit einem Schlag in das darunter bereit stehende Gefäß. Alle Verschlüsse werden elektrisch betrieben und gesteuert, und zwar ist das Steuergestänge so eingerichtet, daß der Meßfüllrumpf nur geöffnet werden kann, wenn der Hauptfüllrumpf geschlossen ist und umgekehrt. Die Bühne f, Abb. 4 u. 5, für die Steuerung dieser Verschlüsse und Betätigung der Klappen ist so angeordnet, daß der Arbeiter eine gute Übersicht über beide Meßfüllrümpfe und über die beiden Fingerverschlüsse der Hauptbunker hat. Der Meßfüllrumpf ist außerdem so eingerichtet, daß er nur geöffnet werden kann, wenn das Gefäß in der richtigen Lage darunter steht, indem es bei seiner Ankunft einen kleinen Hebel beiseite drückt, der den Steuerhebel freigibt. Während das Gefäß unterwegs ist, hat der Arbeiter an der Füllortkammer reichlich Zeit, eine genau abgemessene Erzmenge in den Meßfüllrumpf abzuziehen und bereitzuhalten, um sie alsdann bei Ankunft der Gefäße am Füllort in das darunter befindliche Gefäß fallen zu lassen. Hierdurch wird die Förderpause zum Einbringen des Fördergutes in die Schachtförderung auf die denkbar kürzeste Zeit vermindert. Bei den Versuchen hat sich ergeben, daß hierfür 6 bis 8 s genügen. Da bei der Berechnung der Förderleistung mit einer Förderpause gerechnet worden war, wie sie durchschnittlich bei der Korbförderung notwendig ist (30 s), so wurde durch diese Verkürzung der Pause die verlangte Förderleistung nicht unbeträchtlich überschritten, und zwar haben die Versuche gezeigt, daß die Förderleistung leicht auf 300 t/h gehalten werden konnte.

Die **Schachtförderung** selbst ist zweitrümig, d. h. es sind zwei Fördergefäße (skips) vorhanden für je 8 t Nutzlast und einer Fördergeschwindigkeit von 8 m/s. Die elektrisch betriebene Fördermaschine hat zwei Trommeln, eine versteckbar, für zwei Seile von 40 mm Dmr. An jedem Seil ist ein Gefäß befestigt. Im Schacht werden die Seile von Seiltragrollen, deren Achsen in Ringschmierlagern laufen, in angemessenen Abständen getragen. Von den Gefäßen aus sind die Seile zuerst über zwei Seilscheiben, die am obern Ende des an der Schachtmündung angeschlossenen schrägen Fördergerüstes angeordnet sind, und von dort weiter zur Fördermaschine geführt, Abb. 6. Das Fördergerüst führt über das zwischen der Schachtmündung und dem Fördermaschinenhaus gelegene Brechergebäude hinweg, in dem sich die Aufnahme- und Verteilrutsche, die Brecheranlage, der Vorratsfüllrumpf, der Verladeeinrichtungen usw. befinden. Das Schachtgerüst ist an der Schachtmündung fest auf einer Gründung verankert und weiterhin durch zwei Pendelstützen zur Ermöglichung freier Wärmeausdehnung getragen. Es ist im übrigen nicht mit dem Brechergebäude verbunden. Über dem Brechergebäude befindet sich im Gerüst die Entladeschleife für die Gefäße·

Die Konstruktion der Skips weicht von der sonst gebräuchlichen wesentlich ab. Bei der flachen Neigung der Bahn erforderte sowohl die selbstätige vorteilhafte Verteilung des Fördergutes im Fördergefäß bei der Beladung als auch die selbsttätige Rückwärtsbewegung in der Entladeschleife bei der Abwärtsfahrt besondere Aufmerksamkeit bei der Ausbildung der Fülleinrichtung und der Kurven der Führungsschienen an der Entladestelle.

Das Gefäß, Abb. 14, besteht aus einem sich auf zwei Radsätzen bewegenden Fahrgestell in Form eines Rahmens, an dessen vorderem, überstehendem Ende die Fangvorrichtung angebracht ist, die gemäß den behördlichen Vorschriften für die Mannschaftsfahrt angeordnet werden mußte, und aus dem eigentlichen Erzbehälter von 0,9 m innerer Breite, 1,6 m freier innerer Höhe und 4 m Länge. Der Behälter ist am vorderen Ende oben mit einer Öffnung zur Einführung der Nutzlast versehen, das vordere Ende ist offen zum Ausschütten. Das untere Ende ist schwenkbar an dem unterm Radsatz des Fahrgestelles verlagert, während das vordere Ende am Fahrgestell vermittels hakenartiger wegziehbarer Hebel aufgehängt ist. Während der Beladung am Füllort und während der Fahrt durch den Schacht verhält sich das Fördergefäß also wie ein einfacher vierädriger Wagen. Im Schacht sind demnach außer den zwei Fahrschienen, an denen im übrigen auch die Fangvorrichtungen angreifen, keinerlei Führungsschienen erforderlich. Diese beiden Fahrschienen sind an keiner Stelle unterbrochen oder abgebogen, sondern laufen von der tiefsten Stelle des Schachtes bis zu den Seilscheiben auch in der Entladeschleife gerade durch. Das ist von Wichtigkeit, da man die Fangvorrichtungen andernfalls nicht an diesen Schienen hätte angreifen lassen können. Da das Fahrgestell infolgedessen an der Kippbewegung nicht teilnimmt, so behalten seine Achsbüchsen stets dieselbe Neigung. Hierdurch wird die Verwendung normaler Achsbüchsen für Schmierung mit dünnflüssigem Öl ermöglicht, ohne daß Gefahr besteht, daß das Öl durch die Kippbewegung ausgegossen wird. Für so große Lasten und einen ununterbrochenen Betrieb mit einer Fahrgeschwindigkeit von 8 m/s erschien die Verwendung einer Schmierung mit starrem Fett bedenklich.

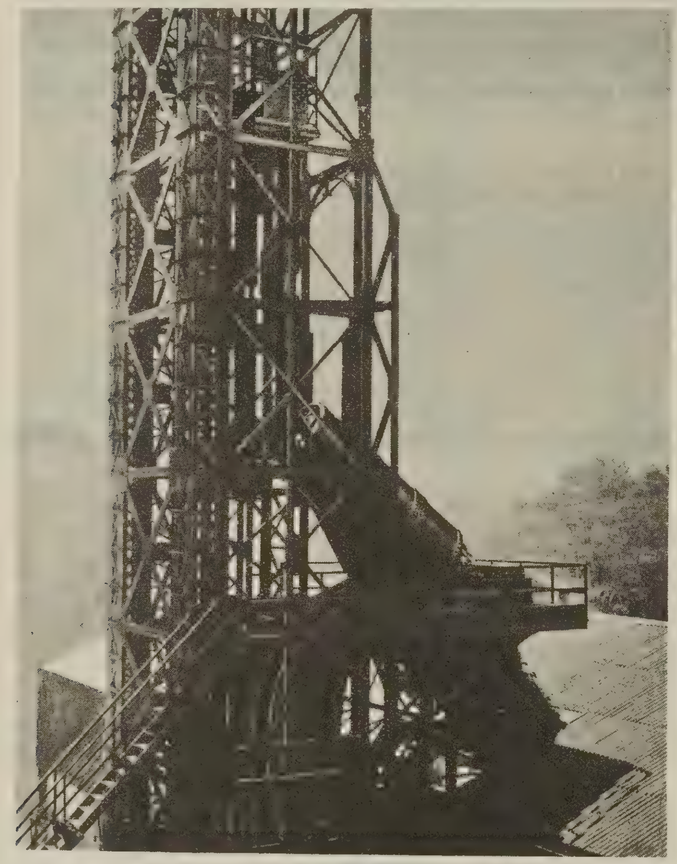


Abb. 12. Entladeschleife mit Fördergefäß in Entladestellung.
(Diese Abbildung zeigt einen Teil der Anlage "Oettingen II", die im Schlußteil des Aufsatzes behandelt wird.)

Der Erzkasten besteht aus Stahlblech, das mit Winkeln und Profileisen versteift ist. Der untere Längsboden ist besonders sorgfältig und widerstandsfähig durchgebildet, sodaß er, wie auch die Erfahrung gezeigt hat, den ganz bedeutenden Beanspruchungen gewachsen ist, die auftreten, wenn bei dem Beladevorgang 8 t Erz, darunter Stücke bis zu 200 kg Gewicht, hart und scharfkantig mit einem Schlag aus 3 bis 4 m Höhe herunter in das Gefäß stürzen und zwar 160 mal am Tage!

Beim Entladen in der Entladeschleife, Abb. 7 bis 11, im Fördergerüst laufen nach selbsttätiger Ermäßigung der Fördergeschwindigkeit zwei vorn unten am Erzkasten angebrachte Rollen a, Abb. 14, auf sanft ansteigende Hilfsschienen a_1, Abb. 8, auf, der Kasten wird etwas angehoben und von seiner vorderen Aufhängung gelüftet. Alsdann läuft eine Rolle b, Abb. 14, die mit dem Aufhängehebel am Fahrgestell in Verbindung steht, in Führungen ein und zieht die Aufhängehebel zurück, sodaß der Weg zum Durchschwingen des Kastens nach unten freigegeben ist. Die Hilfsschienen a_1, auf denen die Hilfsrollen des vorderen Erzkastens laufen, sind von da ab nach unten gebogen, sodaß sich das vordere Ende des Kastens bei der Weiterbewegung senkt und die Entladung stattfindet. Ein versehentliches Überfahren der normalen Endstellung ist ohne weiteres zulässig und gefahrlos. Es ist ein reichlicher Überfahrweg vorhanden, auf dem die alsdann selbstätig einfallende Sicherheitsbremse die Förderung stillsetzt. Bei der Rückwärtsfahrt geleitet das Gefäß selbsttätig in seine richtige Lage zurück, die Bewegungen erfolgen in umgekehrter Reihenfolge, und der Kasten wird wieder in seine vordere Aufhängung gebracht. Bereit zu einer neuer Füllung kehrt das Gefäß nach dem Inneren der Grube zurück, während das andere emporsteigt und in gleicher Weise entladen wird. Zwischen den Schienen des einen Gleises ist ein schmalspurigeres Hilfsgleis verlegt zum leichten Einlassen und Herausholen der Grubenwagen zwecks Ausbesserung usw.

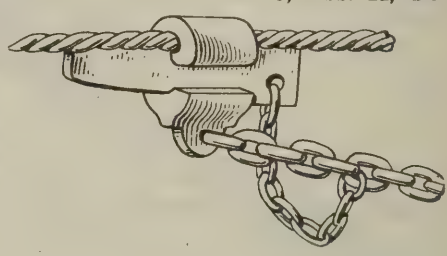


Abb. 13. Keilschloß, Bauart Heckel.

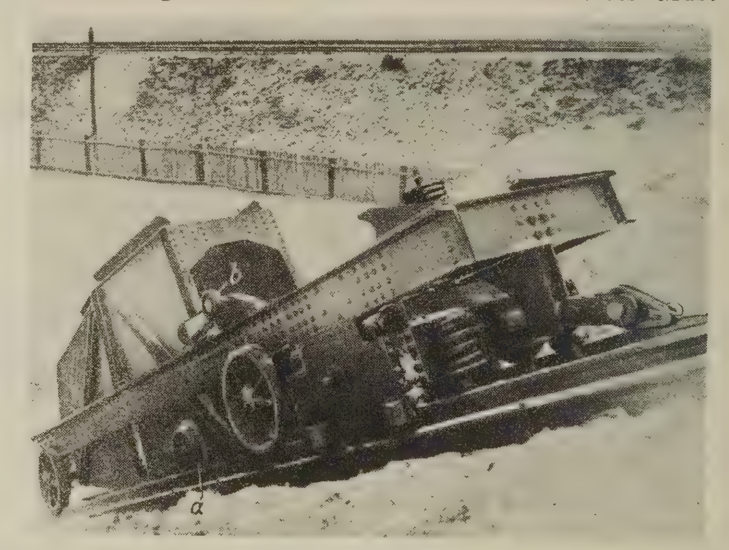


Abb. 14. 8 t-Schrägschacht-Erzfördergefäß der „Mines de Soumont" auf dem Freifall-Versuchstand zur Erprobung der Fangvorrichtung.

Für die Mannschaftsfahrt wird ein einfacher, auf Rädern laufender treppenförmiger Wagen an das Gefäß mit zwei Bolzen angehängt, auf den etwa 40 Arbeiter Platz finden, während auf dem Fahrgestell des Gefäßes selbst ebenfalls noch eine Anzahl untergebracht werden kann. Die durch Patent geschützte Fangvorrichtung ist von Beamten der französischen Bergpolizei auf dem Versuchstand durch Fangversuche mit dem vollbeladenen und freifallenden Gefäß erprobt worden. Die Versuche gelangen anstandlos und führten zur bedingungslosen Zulassung für die Mannschaftsfahrt.

An sonstigen Sicherheitsvorkehrungen sind erwähnenswert die im Fördergerüst angebrachten Fangvorrichtungen für das Gefäß, wenn es trotz des Einfallens der selbsttätigen Sicherheitsbremse zu hoch und gegen die Prellträger vor den Seilscheiben gezogen werden sollte und das Seil reißt.

Die Gefäße schütten in einen Aufnahmetrichter aus, von wo aus der Inhalt durch eine sogenannte Hosenrutsche mit Wechselklappe wahlweise nach der einen oder andern Seite geführt wird, sodaß die beiden verschiedenen Erzsorten getrennt gehalten werden können. Das Erz fällt dann auf ein Sieb, durch

das hindurch das kleinere Material unmittelbar in einen Füllrumpf *b*, Abb. 7, von 1500 t Fassungsvermögen gelangt. Diese Menge entspricht etwa einer Tagesleistung. Die groben Stücke gleiten in einen Steinbrecher, werden zerkleinert und gelangen erst dann in den Füllrumpf. Die Sieb- und Zerkleinerungsanlage ist ebenfalls doppelt ausgeführt, damit die zwei Erzsorten getrennt gehalten werden können.

Aus dem Füllrumpf kann das Erz in Eisenbahnwagen auf zwei darunter weg geführten Gleisen abgezogen werden, oder aber es wird in die Wagen einer Haldenturm-Drahtseilbahn abgezogen, die an jeder beliebigen Stelle der Bahn selbstätig zum Kippen und Entleeren gebracht werden können. Die beschickbare Fläche und die Höhe der Türme sind so groß gewählt, daß die Förderleistung eines ganzen Jahres (600 000 t) gestapelt werden kann. Dies große Fassungsvermögen war dadurch bedingt, daß man mit der Inbetriebnahme der Grube nicht warten wollte, bis die übrigen Anlagen zur Verhüttung des Erzes, wie z. B. Hochöfen, Stahlwerke, Walzwerke usw. fertig waren.

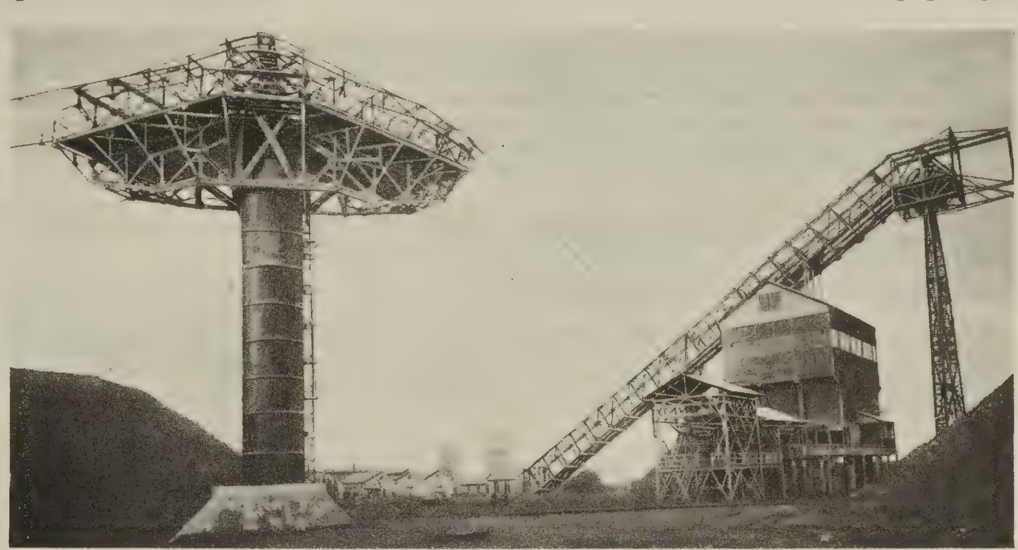


Abb. 15. Drahtseilbahn-Winkelstation auf einem Rohrturm für die Haldenbeschickung von 600 000 t Stapelungsmöglichkeit der „Mines de Soumont".

Die Heckelsche Drahtseilbahn, Abb. 9 u. 10, führt zunächst von der am Füllrumpf angebauten Belade- und Antriebstelle, die bereits über dem freien Profil der Eisenbahnwagen liegt und den Eisenbahnverkehr unter sich hinweg gestattet, in stark ansteigender Linie nach einer in 23 m Höhe auf einem Rohrturm angeordneten Winkel-Haltestelle, durch welche die Förderstrecke 113 ° nach rechts abgelenkt wird. Von hier steigt sie um weitere 13 m bis zu einer zweiten Winkelstelle ebenfalls auf einem Rohrturm, wird hier wieder um 43 ° abgelenkt und geht dann in wagerechter Linie nach der in 35 m Höhe auch auf einem verankerten Rohrturm befindlichen End- und Umkehrstelle. Die Leistung dieser Turm-Drahtseilbahn beträgt 160 t/h Erz. Die rd. 145 stündlich zu fördernden und sich selbsttätig entleerenden Drahtseilbahn-Wagen folgen einander in Abständen von rd. 35 m und fassen durchschnittlich 1000 kg Nutzlast.

Die Bahn erfordert bei voller Leistung etwa 35 PS. Zum selbstätigen Entladen der Drahtseilbahn-Wagen an beliebiger Stelle des Erzstapelplatzes dient ein Entladeanschlag, der von einer Stelle aus leicht versetzbar angeordnet ist. Die Konstruktion der Drahtseilbahn ist die normale mit verschlossenen Tragseilen und Unterseil als Zugmittel. Die Wagen haben nur zwei Laufräder, eine Unterseilklemme kuppelt sie selbstätig an und ab, die Klemmwirkung wird durch das Eigengewicht des Wagens erreicht. Sie ermöglicht ferner das selbsttätige Durchfahren durch jede Winkel- und Endstelle, was wegen des verhältnismäßig häufigen Durchfahrens von besonderer Bedeutung ist.

Bemerkenswert bei dieser Drahtseilbahn-Anlage sind noch die ausbetonierten rohrartigen Türme, Abb. 15, an deren oberen Enden die Winkel- und Endstellen angebracht sind. Sie bieten den Vorteil, daß das Erz rund um die Türme herum aufgeschüttet werden kann, ohne daß einzelne Teile der Tragkonstruktion durch herabfallende Erzblöcke verbogen oder zerschlagen werden könnten. Zur Rückverladung des gestapelten Erzes dienen Dampfschaufeln, die im Bedarfsfall das Erz in Eisenbahnwagen zur weiteren Beförderung verladen.

Das Erz ist ein Karbonat mit verhältnismäßig geringem Eisengehalt. Um es verhüttungsfähig zu machen, muß man es zuvor einem besondern Aufbereitungsverfahren (Röstung) unterwerfen. Hierdurch verteuert sich das Erzeugnis, und es war daher von größter Bedeutung, eine Anlage zu schaffen, die mit größtmöglichster Wirtschaftlichkeit arbeitet, damit das erzeugte Roheisen den Wettbewerb mit einem aus andern Erzen, z. B. Minette, dargestellten Eisen aushalten kann. Dies wurde durch die beschriebene Anlage in vollem Umfang erreicht.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß die Rücksichtnahme auf zwei verschiedene Erzsorten, die auf dem ganzen Wege der Förderung getrennt gehalten werden sollten, sich als überflüssig gezeigt hat, da sich bei weiterem Abbau herausstellte, daß das Erz auf beiden Flügeln entgegen der ursprünglichen Annahme vollkommen gleich ist. Auch die hierfür geschaffenen Einrichtungen kommen infolgedessen nicht zur Wirkung.

(Schluß folgt.)

Ein Muster der neuzeitlichen Wärmewirtschaft.

Im Archiv für Wärmewirtschaft Heft 5, 1924, beschreibt Prof. Dr. F. Niethammer die Energiewirtschaft in der Nestomitzer Zuckerraffinerie A.-G., Böhmen, wo seit November 1922 zwei Vielrad-Gegendruck-Dampfturbinen von je 2500 kVA, $\cos \varphi = 0{,}8$ der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft arbeiten. Der zugeführte Frischdampf hat 13 at Überdruck und bis 420 ° Überhitzung; der Abdampf mit 0,5 at Überdruck bei 150 °C wird in Mengen von über 45 000 kg/h restlos für Koch-, Heiz- und Trockenzwecke in der Raffinerie verwendet. Beim Abarbeiten von 13 auf 0,5 at werden bei einem thermodynamischen Wirkungsgrad von etwa 80 vH gegen 4000 kW erzeugt und auch restlos ausgenutzt, indem der kleinere Teil für den elektrischen Fabrikbetrieb benützt, der größte Teil, nämlich 3000 kW, mit 35 000 V Spannung in ein großes Überlandnetz geschickt wird. Diese elektrische Energie wird mit etwa 1200 kcal/kWh, also mit $^1/_5$ der Kohle erzeugt, die man für die beste Kondensationsanlage braucht.

Für Ausnützung elektrischer Abfallenergie haben die neuen Dampfturbinen der Ersten Brünner den großen Vorteil, daß sie bei gegebener stündlicher Heizdampfmenge wesentlich mehr elektrische Energie als die alten Gegendruckturbinen mit 50 vH thermodynamischem Wirkungsgrad oder noch weniger liefern. Man kann also mit der neuen Turbine die Stromeinnahmen gegen früher leicht um 30 bis 50 vH erhöhen.

Außer Nestomitz liefern auch die Rohrbacher Zuckerraffinerie 1500 kW, die Grußbacher Zuckerfabrik 2700 kW in Überlandnetze, und wenn man in Böhmen und Mähren alle Fabrikbetriebe, die große Mengen Heiz-Kochdampf benötigen, den Überlandnetzen einfügen würde, so könnte man wenigstens im Winter die gesamte in öffentlichen Elektrizitätswerken erzeugte Energie durch billige Abfallenergie unter Aufwand von etwa $^1/_5$ der jetzt verbrauchten Kohle ersetzen. Damit ginge eine wesentliche Verbilligung des Stromes Hand in Hand, so daß auch das elektrische Heizen und Kochen möglich würde. In manchen Fällen läßt sich die Gegendruckturbinen-Anlage für mehrere nahe beisammen gelegene Fabriken zusammenfassen, so daß diese Fabriken gemeinsam mit Abdampf für Heiz- und Kochzwecke sowie billiger elektrischer Energie beliefert werden. Beachtenswert sind in den erwähnten Raffinerien noch die Abhitzekessel, in denen Niederdruckdampf erzeugt wird, in Verbindung mit Speicheranlagen und Speisewasservorwärmung.

[M 265]

Berechnung der Luftverflüssigungs- und Trennungsapparate.

Von Dr.-Ing. Victor Fischer, Frankfurt a. M.

(Schluß von S. 653).

B) Die Energiegleichung des Trennungsapparates.

Diese ermöglicht die Bestimmung des Betriebsdruckes P_1 für den Trennungsapparat. Wie bereits eingangs erwähnt wurde, verlangt die Gewinnung flüssigen Sauerstoffes jetzt eine andre rechnerische Behandlung wie diejenige gasförmigen Sauerstoffes.

I. Gewinnung des gasförmigen Sauerstoffes.

Der Querschnitt der Hochdruck-Luftleitung bei ihrem Eintritt in den Trennungsapparat und die Querschnitte der Stickstoff- und Sauerstoffleitung bei ihrem Austritt aus dem Trennungsapparat seien so bemessen, daß die Bewegungsenergien der strömenden Gase bzw. der Unterschied der Bewegungsenergie der Luft und jener von Stickstoff und Sauerstoff vernachlässigt werden können.

In dem Druck- und Temperaturbereich, der für die dem Trennungsapparat zugeführte verdichtete Luft in Frage kommt, gelten die Gesetze für vollkommene Gase nicht, es kann hierfür erfahrungsgemäß die Van der Waalssche Zustandsgleichung

$$\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=R\,T \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (82)$$

angewandt werden. Aus dieser erhalten wir die gesuchte Energiegleichung in folgender Weise: Es wird

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v=\frac{R}{v-b}=\frac{p+\frac{a}{v^2}}{T} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (83)$$

Mit (83) geht die allgemeine Gleichung

$$\mathrm{d}u=c_v\,\mathrm{d}T+A\left[T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v-p\right]\mathrm{d}v \quad . \; . \; . \; . \; (84)$$

über in

$$\mathrm{d}u=c_v\,\mathrm{d}T+A\frac{a}{v^2}\,\mathrm{d}v \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (85).$$

Da du ein vollständiges Differential sein muß, so folgt aus (85) ohne weiteres, daß c_v lediglich eine Funktion der Temperatur sein wird.

Wir bezeichnen nun den spezifischen Rauminhalt der Luft in m³/kg im Querschnitt der Hochdruck-Luftleitung bei ihrem Eintritt in den Trennungsapparat mit v_0, deren wahre spezifische Wärme bei gleichbleibendem Rauminhalt mit c_{v_l}, bei gleichbleibendem Druck mit c_{p_l} und verwenden für die übrigen vorkommenden Werte die bereits gebrauchten Zeichen. Vernachlässigen wir die Abhängigkeit der spezifischen Wärme c_{v_l} von der Temperatur und sehen wir c_{v_l} als unveränderliche Größe an, so folgt für die innere Energie U_l für 1 kg durch den Eintrittsquerschnitt strömender Luft aus Gl. (85) durch Integration, wenn wir unter C_l eine Integrationskonstante verstehen,

$$U_l=C_l+c_{v_l}\,T_1-A\frac{a}{v_0} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (86).$$

Für den Wärmeinhalt gilt allgemein

$$i=u+A\,p\,v \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (87).$$

Mithin erhalten wir aus Gl. (86) für den Wärmeinhalt J_l von 1 kg durch den Eintrittsquerschnitt strömender Luft

$$J_l=C_l+c_{v_l}\,T_1-A\frac{a}{v_0}+A\,P_1\,v_0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (88).$$

Da die Entspannung in der Regel auf Atmosphärendruck erfolgt, wobei für gewöhnlich Temperatur und Druck des ausströmenden Stickstoffes und Sauerstoffes nahezu gleich sind, so können wir für den aus dem Trennungsapparat abziehenden Stickstoff und Sauerstoff die Gesetze für vollkommene Gase anwenden. Es entfällt infolgedessen das sich aus der Van der Waalsschen Zustandsgleichung ergebende Glied mit v im Nenner.

Die Arbeit, die nötig ist, um den Stickstoff bzw. den Sauerstoff der atmosphärischen Luft von ihrem Teildruck in dieser auf den entsprechenden Teildruck in der veränderten Zusammensetzung durch isothermische Verdichtung oder Entspannung zu bringen, ändert den Wärmeinhalt nicht. Daraus folgt, daß der Wärmeinhalt bei unverändertem Druck der beiden durch die Rektifikation getrennten Teile der Luft und der Wärmeinhalt der sich aus diesen Teilen zusammensetzenden Luft einander gleich sind.

Bezeichnen wir nun den spezifischen Rauminhalt der Luft beim Druck P_2 und der Temperatur $T_1'=T_1''$ mit v, den Wärmeinhalt mit J'_l und die wahren spezifischen Wärmen mit c'_{v_l} und c'_{p_l}, so ist

$$J'_l=C_l+c'_{v_l}\,T_1'+A\,P_2\,v=C_l+c'_{p_l}\,T_1' \quad . \; . \; . \; . \; (89).$$

Es sei nun die für 1 kg Luft durch die Isolierung des Trennungsapparates von außen in diesen eindringende Wärme gleich Q_s, so lautet die Energiegleichung

$$Q_s=U_l'-U_l+A\,L \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (90).$$

Die hierbei geleistete äußere Arbeit ist

$$L=P_2\,v-P_1\,v_0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (91).$$

Führen wir (91) in Gl. (90) ein, so geht sie unter Berücksichtigung von (87) über in

$$Q_s=J_l'-J_l \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (92).$$

Ist die Isolierung des Trennungsapparates vollständig, so daß also keine Wärme von außen einströmt, so wird

$$J'_l=J_l \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (93).$$

Dies ergibt mit Rücksicht auf (88) und (89), wenn wir in diese Gleichungen statt des spezifischen Rauminhaltes v_0 und v deren reziproke Werte, die spezifischen Gewichte μ_0 und μ in kg/m³ einführen,

$$c_{v_l}\,T_1-c'_{p_l}\,T_1'+A\left(\frac{P_1}{\mu_0}-a\,\mu_0\right)=0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; (94).$$

Die spezifische Wärme bei gleichbleibendem Rauminhalt ergibt sich unter Zugrundelegung der Van der Waalsschen Gleichung, wie wir aus (85) gesehen haben, als bloße Funktion der Temperatur, also als unabhängig vom Druck. Da nun die Temperaturen t_1 und t_1' nicht wesentlich verschieden von einander sind, so können wir $c_{v_l}=c'_{v_l}$ setzen. Damit läßt sich Gl. (94) auch schreiben:

$$c_{v_l}(T_1-T_1')+A\left(\frac{P_1}{\mu_0}-\frac{P_2}{\mu}\right)-A\,a\,\mu_0=0 \quad . \; . \; (95).$$

In der nachfolgenden Zahlentafel 3 sind für verschiedene Werte des spezifischen Gewichtes μ_0 der Luft bei einer Eintrittstemperatur von 20 °C die zugehörigen Betriebsdrücke p_1 eingetragen, die sich aus der Van der Waalsschen Gleichung (82) berechnen, und ebenso die nach der Formel (94) bestimmten Austrittstemperaturen t_1' von Stickstoff und Sauerstoff.

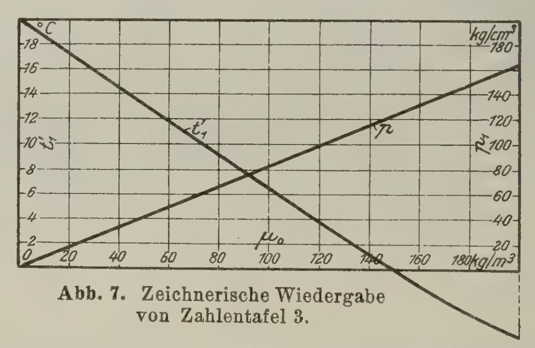


Abb. 7. Zeichnerische Wiedergabe von Zahlentafel 3.

Wir brauchen hierbei die Werte für die Unveränderlichen a und b der Van der Waalsschen Gleichung, die sich für Luft aus den bekannten Beziehungen zu

$$b=\frac{v_k}{3}=\frac{0{,}0031}{3}\sim 0{,}001 \text{ m}^3/\text{kg}$$

und

$$a=3\,P_k\,v_k^2$$
$$=3\cdot 400\,000\cdot 0{,}0031^2\sim 12 \text{ m}^4/\text{kg}$$

ergeben.

Zahlentafel 3.

μ_0 kg/m³	p_1 kg/cm²	t_1 °C	t_1' °C
40	34	20	15
70	59	20	10,5
75	63	20	10
80	67	20	9
90	76	20	8
100	83	20	6,5
150	123	20	0
200	166	20	— 5,5

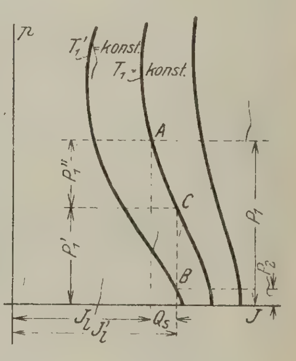


Abb. 8. J, p-Diagramm mit Isothermen für die Temperaturen T_1 und T_1'.

Wir ersehen aus der Zahlentafel 3, daß die Betriebsdrücke, die sich für die verschiedenen Temperaturen t_1' bei $t = 20\,°C$ aus der Rechnung ergeben, mit den bei diesen Temperaturen erfahrungsmäßig auftretenden Betriebsdrücken übereinstimmen.

Abb. 7 gibt die Zahlentafel 3 zeichnerisch wieder. Die Abszissen stellen die spezifischen Gewichte μ_0 dar, die Ordinaten einerseits die Temperaturen t_1', anderseits die spezifischen Drücke p_1, die von links nach rechts ansteigende Kurve stellt die Isotherme bei 20 °C im μ, p-Diagramm dar. Die von links nach rechts abfallende Kurve bestimmt die Austrittemperaturen t_1' von Stickstoff und Sauerstoff bei einer Eintrittemperatur der verdichteten Luft von 20 °C als Funktion der spezifischen Gewichte μ_0 der verdichteten Luft.

Bei Gl. (93) haben wir vollständige Wärmeisolierung des Trennungsapparates vorausgesetzt. Findet in diesem von außen die Wärmeeinströmung Q_s statt, so gilt Gl. (92), und es gehen Gl. (94) und (95) über in

$$c_{v_l} T_1 - c'_{p_l} T_1' + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - a\,\mu_0\right) = -Q_s \quad . \; . \; . \; . \; (96)$$

und

$$c_{v_l}(T_1 - T_1') + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_2}{\mu}\right) - A\,a\,\mu_0 = -Q_s \; . \; . \; . \; (97)$$

In einem J, p-Diagramm, s. Abb. 8, seien die Isothermen für die Temperatur T_1 und T_1' in ihrem allgemeinen Verlauf dargestellt. Durch den Punkt A sei der Zustand der Luft vor ihrem Eintritt in den Trennungsapparat gegeben, durch den Punkt B derjenige des Stickstoffes und Sauerstoffes bei deren Austritt aus dem Trennungsapparat. Wir erkennen aus Abb. 8, daß wir uns den Druck P_1 aus zwei Teilen zusammengesetzt denken können, und zwar aus einem Teil P_1', der von dem Temperaturunterschied $T_1 - T_1'$ herrührt, und einem Teil P_1'', der von der Wärmeeinströmung Q_s herrührt. Je vollkommener der Temperaturausgleich im Gegenstromkühler und je besser die Wärmeisolierung des Trennungsapparates ist, desto kleiner sind P_1' und P_1'', desto niedriger ist mithin der Betriebsdruck P_1, eine Tatsache, die durch die Erfahrung bestätigt wird.

Bezeichnen wir das dem Druck P_1' entsprechende spezifische Gewicht mit μ_0', den spezifischen Rauminhalt mit v_0' und führen wir diese Größen in Gleichung (94) ein, so geht sie über in

$$c_{v_l} T_1 - c_{p_l}' T_1' + A\left(\frac{P_1'}{\mu_0'} - a\,\mu_0'\right) = o \; . \; . \; . \; . \; . \; (98).$$

Aus (96) und (98) folgt

$$A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_1'}{\mu'_0}\right) - A\,a\,(\mu_0 - \mu'_0) = -Q_s \quad . \; . \; . \; . \; (99)$$

Bezeichnen wir den Zustandspunkt, in dem die Linie gleichen Wärmeinhaltes J'_l die Isotherme für die Temperatur T_1 schneidet, mit C, s. Abb. 8, so folgt Gl. (99) unter Beachtung, daß die Zustände A und C derselben Isotherme entsprechen, auch unmittelbar aus der Energiegleichung (90).

Es ergibt sich z. B. mit

$$P_1'' = P_1 - P_1' = 63 - 55 = 8 \text{ kg/cm}^2$$

bei einer Einströmtemperatur von $t_1 = 20\,°C$ und einer Luftansaugung von 100 kg/h aus Gl. (99) eine Wärmeeinströmung von 33 kcal/h.

Bezeichnen wir die Ausströmtemperatur des Stickstoffes und Sauerstoffes, welche der Wärmeeinströmung null entspricht, mit t_1^I, so gilt nach Gl. (94)

$$c_{v_l} T_1 - c_{p_l}' T_1^I + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - a\,\mu_0\right) = 0 \quad . \; . \; . \; . \; (100).$$

Aus Gleichung (96) und (100) folgt daher

$$c_{p_l}'(T_1^I - T_1') = -Q_s \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (101)$$

Für das obige Beispiel ergibt sich daraus eine Erhöhung der Ausströmtemperatur infolge der Wärmeeinströmung in den Trennungsapparat um ungefähr 1 °C gegenüber der Ausströmtemperatur bei vollständiger Wärmeisolierung.

Unser Beispiel, das im Bereich möglicher Betriebsfälle liegt, zeigt, daß die Wärmeeinströmung in den Trennungsapparat jedenfalls zu gering ist, um auf die Vorgänge in seinem Innern, die in den vorangegangenen Abschnitten unter Annahme eines vollkommenen Wärmeschutzes beschrieben wurden, einen merklichen Einfluß auszuüben.

Strömt mehr Wärme Q_s in den Trennungsapparat, als dem Druck P_1 und der Temperatur T_1' in Gl. (96) entspricht, so wird der Beharrungszustand gestört. Es dampft mehr Flüssigkeit aus dem Sauerstoffbad ab, als dem Zufluß entspricht. Die Wassersäule im Flüssigkeitsanzeiger, welche die Flüssigkeitshöhe im Sauerstoffbad angibt, sinkt mehr und mehr.

Strömt weniger Wärme Q_s in den Trennungsapparat, als dem Druck P_1 und der Temperatur T_1' in Gl. (96) entspricht, so tritt das Umgekehrte ein.

Durch Regeln des Betriebsdruckes kann der Beharrungszustand wieder hergestellt werden.

II. Gewinnung des flüssigen Sauerstoffes.

Wird der Sauerstoff flüssig aus dem Trennungsapparat abgezogen, so vermindert sich J'_l um die Verdampfungs- und Überhitzungswärme des Sauerstoffes. Bezeichnen wir den so verminderten Wärmeinhalt mit J''_l, dann wird

$$J''_l = J'_l - [(n\,c_{p_n} + o\,c_{p_o})(t_1' - t_o) + n\,\alpha_o + o\,\beta_o] \; . \; (102)$$

Bezeichnen wir ferner die innere Energie von 1 kg des entweichenden Stickstoffes und abgezapften flüssigen Sauerstoffes mit U''_l, so lautet die Energiegleichung

$$U''_l - U_l + A\,L = Q_s \; . \; . \; . \; . \; . \; \; . \; . \; (103)$$

Gl. (103) geht unter Berücksichtigung von Gl. (87) über in

$$J''_l - J_l = Q_s \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (104).$$

Bei vollständigem Wärmeschutz wird

$$J''_l = J_l \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (105).$$

Mit Rücksicht auf Gl. (95) und (97) erhalten wir aus (104) und (105)

$$c_{v_l}(t_1 - t_1') + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_2}{\mu}\right) - A\,a\,\mu_0$$
$$= -Q_s - [(n\,c_{p_n} + o\,c_{p_o})(t_1' - t_o) + n\,\alpha_o + o\,\beta_o] \; . \; . \; (106)$$

bzw.

$$c_{v_l}(t_1 - t_1') + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_2}{\mu}\right) - A\,a\,\mu_0$$
$$= -[(n\,c_{p_n} + o\,c_{p_o})(t_1' - t_o) + n\,\alpha_o + o\,\beta_o] \; . \; . \; . \; . \; (107).$$

Da der im abgezapften flüssigen Sauerstoff enthaltene Stickstoff nur 1 bis 2 vH beträgt, können wir ihn vernachlässigen. Gl. (107) vereinfacht sich dann zu

$$c_{v_l}(t_1 - t_1') + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_2}{\mu}\right) - A\,a\,\mu_0 = -o\,[c_{p_o}(t_1' - t_o) + \beta_o] \; . \; (108).$$

Für die Gewinnung von flüssigem Sauerstoff ist ein weit höherer Betriebsdruck nötig, als für die von gasförmigem Sauerstoff. Aus Gl. (108) folgt z. B., daß im günstigsten Fall, also bei einem als vollkommen vorausgesetzten Wärmeschutz des Trennungsapparates und einem möglichst vollständigen Temperaturausgleich im Gegenstromkühler bei einem Betriebsdruck von 63 at aus 100 kg angesaugter Luft nur 2,2 kg flüssiger Sauerstoff erhalten werden.

Wir haben nun zwei Möglichkeiten, die Ausbeute an flüssigem Sauerstoff zu erhöhen. Die erste Möglichkeit besteht darin, daß wir den Betriebsdruck p_1 steigern, und zwar erhalten wir, wie aus Abb. 8 zu erkennen ist, die höchste Ausbeute für jenen Druck, bei dem der Wärmeinhalt auf der Isotherme für T_1 ein Mindestwert wird. Man wählt den Betriebsdruck aber für gewöhnlich gleich 200 at und geht über 220 at nicht hinaus.

Ein weiteres Mittel, die Ausbeute an flüssigem Sauerstoff zu steigern, besteht in einer Kühlung der verdichteten Luft vor ihrem Eintritt in den Trennungsapparat.

Der aus dem Trennungsapparat entweichende Stickstoff ist vollständig trocken; leitet man ihn daher durch Wasser, so sättigt er sich mit Wasserdampf. Die Ausnützung der dadurch hervorgerufenen Kältewirkung ermöglicht es, die Temperatur der verdichteten Luft bis nahe an 0 °C zu bringen.

Um die verdichtete Luft vor ihrem Eintritt in den Trennungsapparat noch tiefer herunterzukühlen, müssen wir uns einer Kältemaschine bedienen. Die hierbei gewöhnlich angewandte Temperatur ist — 20 °C. Als tiefste Temperatur kommt derzeit — 50 °C in Frage.

III. Gewinnung eines Gemisches von flüssigem Sauerstoff und Stickstoff.

Der flüssige Sauerstoff wird hauptsächlich zum Sprengen in Bergwerken und Steinbrüchen verwendet. Es genügt hierbei eine Reinheit von 95 vH. Um nun festzustellen, welchen Einfluß die Verunreinigung des Sauerstoffs mit Stickstoff auf die Höhe der Ausbeute hat, führen wir in Gl. (107) die Größe $F = \frac{o}{n}$ ein. Gl. (107) geht dann über in

$$c_{v_l}(t_1 - t_1') + A\left(\frac{P_1}{\mu_0} - \frac{P_2}{\mu}\right) - A\,a\,\mu_0$$
$$= -n\,[(c_{p_n} + F\,c_{p_o})(t_1' - t_o) + \alpha_o + F\,\beta_o] \; . \; . \; (109).$$

Die Luftverflüssigung wird auch für die Zwecke der Tiefkühlung verwandt. In diesem Falle kann es von Bedeutung sein, eine möglichst stickstoffreiche Flüssigkeit zu erhalten, denn je größer deren Stickstoffgehalt ist, desto tiefer wird ihre Temperatur. Wir erreichen dies, indem wir im Luftverflüssigungsapparat die Tellersäule fortlassen. Durch die Entspannung der verflüssigten Luft und die teilweise Wiederverdampfung der sich am Boden des Gefäßes, in welchem sich die Heizschlange befindet, ansammelnden Flüssigkeit reichert sich diese mit Sauerstoff an. Es entsteht die sogenannte Lindeluft, die einen Sauerstoffgehalt von 50 bis 60 vH hat. Die Temperatur dieser Flüssigkeit ist um ungefähr 9 °C tiefer als diejenige des reinen flüssigen Sauerstoffes.

In Zahlentafel 4 sind für einen Betriebsdruck von 200 at und einen Temperaturunterschied von 2 °C zwischen dem aus dem Trennungsapparat ausströmenden Stickstoff und der zuströmenden Luft die Ausbeuten aus 100 kg/h angesaugter Luft bei vollständigem Wärmeschutz des Trennungsapparates für die zuvor besprochenen Fälle eingetragen.

Zahlentafel 4.

Reinheit des Sauerstoffes	t_1 °C	— 50	— 20	+ 2	+ 20
100 vH	o kg	13,7	10,6	8,3	7
95 „	$(o+n)$ kg	13,6	10,5	8,2	7
50 „	$(o+n)$ kg	13,2	10,15	7,9	6,7

IV. Ableitung der Bedingung für die Erzielung einer Höchstausbeute an flüssigem Sauerstoff

Für den Betriebsdruck P_1, für den der Wärmeinhalt J_l bei der Temperatur T_1 einen Mindestwert und dementsprechend die Ausbeute an flüssigem Sauerstoff einen Höchstwert erreicht, wird nach Gl. (88)

$$\left(\frac{\partial J_l}{\partial P_1}\right)_{T_1} = A\left(\frac{a}{v_o^2}+P_1\right)\left(\frac{\partial v_o}{\partial P_1}\right)_{T_1} + A\,v_o = 0 \quad . \;.\;. \;(110).$$

Führen wir in Gl. (110) die Van der Waalssche Gl. (82) ein, so geht Gl. (110) über in

$$\frac{R\,T_1}{v_o - b}\left(\frac{\partial v_o}{\partial P_1}\right)_{T_1} = -v_o \quad . \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (111).$$

Anderseits ergibt sich aus Gl. (82)

$$\left(\frac{\partial v_o}{\partial P_1}\right)_{T_1} = -\frac{v_o - b}{P_1 - \frac{a}{v_o^2} + \frac{2\,a\,b}{v_o^3}} \quad . \;.\;.\;.\;.\;.\;. \;(112).$$

Aus den Gl. (111) und ((112) folgt

$$R\,T_1 = P_1\,v_o - \frac{a}{v_o} + \frac{2\,a\,b}{v_o^2} \quad . \;.\;.\;.\;.\;. \;(113).$$

Um P_1 aus dieser Gleichung auszuscheiden, beachten wir, daß aus Gl. (82) $P_1\,v_o = R\,T_1 \frac{v_o}{v_o - b} - \frac{a}{v_o}$ folgt. Damit erhalten wir aus Gl. (113) nach einfacher Umformung

$$R\,T_1 = \frac{2\,a\,(b - v_o)^2}{b\,v_o^2} \quad . \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (114)$$

bezw.

$$v_o^2\,(R\,T_1\,b - 2\,a) + 4\,a\,b\,v_o - 2\,a\,b^2 = 0 \quad . \;.\;. \;(115).$$

Führen wir statt des spezifischen Rauminhaltes v_0 das spezifische Gewicht $\mu_0 = \frac{1}{v_o}$ in Gl. (115) ein, so geht sie über in

$$\mu_0^2 - \frac{2}{b}\,\mu_0 - \left(\frac{R\,T_1}{2\,a\,b} - \frac{1}{b^2}\right) = 0 \quad . \;.\;.\;.\;.\; (116).$$

In diese Gleichung setzen wir die Zahlenwerte für die unveränderlichen Größen a, b und R ein und erhalten

$$\mu_0^2 - 2000\,\mu_0 - (1219\,T_1 - 10^6) = 0 \quad . \;.\;.\;.\;. \;(117).$$

Die Auflösung dieser quadratischen Gleichung ergibt

$$\mu_0 = 1000 \pm \sqrt{1219\,T_1} \quad . \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \;(118).$$

μ_0 muß kleiner sein als 1000, denn für größere Werte von μ_0 würden sich aus der Van der Waalsschen Gl. (82) negative Werte für T_1 ergeben. Es kommt also in Gl. (118) nur das negative Vorzeichen in Frage. Gl. (118) ist die Beziehung, die für μ_0 bei einer bestimmten Temperatur T_1 bestehen muß, damit J_l ein Mindestwert und folglich die Ausbeute an flüssigem Sauerstoff ein Höchstwert wird.

In Zahlentafel 5 sind die Werte von μ_0 aus Gl. (118) und die daraus nach der Van der Waalsschen Gl. (82) folgenden Betriebsdrücke P_1 für die vier betrachteten Temperaturen t_1 und die sich damit aus Gl. (118) ergebenden Höchstausbeuten an flüssigem Sauerstoff eingetragen.

Zahlentafel 5.

μ_0	kg/m³	479	445	421	402
P_1	kg/cm²	325	356	372	382
t_1	°C	— 50	— 20	+ 2	+ 20
o	kg	15,6	12,4	10,4	9,1

Ein Betriebsdruck von 325 at ist technisch möglich. Wir sehen also aus Zahlentafel 5, daß wir durch Abkühlung der verdichteten Luft auf — 50 °C und gleichzeitige Steigerung des Betriebsdruckes auf 325 at bei der Gewinnung flüssigen Sauerstoffes bis nahe an die mögliche Höchstausbeute herankommen können. Es sei bemerkt, daß wir die Vorkühlung der Luft auch durch aufeinander folgende Anwendung der beiden angeführten Kühlverfahren erreichen können. [A 120]

Die größte Bogenbrücke der Welt in einer Spannweite.[1])

Der Plan einer Brücke über den Hafen von Sydney ist seit über 30 Jahren in Neu-Südwales Gegenstand der Erwägung gewesen. Mit Rücksicht auf die dringende Notwendigkeit, die Verkehrsverbindungen zu verbessern, wurde 1922 durch das Parlament ein Gesetz verabschiedet zum Bau einer Brücke mit einer Öffnung und genügender Durchfahrtshöhe für die größten Dampfer. Auf eine allgemeine Ausschreibung, an welcher sich Firmen der ganzen Welt beteiligen konnten, bei welcher aber englische Firmen in erster Linie für den Zuschlag in Betracht kommen sollten, wurden Angebote von zwei englischen, einer kanadischen und einer amerikanischen Brückenbaufirma eingereicht. Auch zwei australische Firmen hatten Angebote gemacht.

Der angenommene Entwurf ist einer der von der Firma Dormann, Long & Co., Middlesbrough, eingereichten sieben Vorschläge. Er sieht einen einzigen Bogen von rd. 500 m Spannweite mit schweren Widerlagertürmen in Granit und eine Reihe von Fachwerkbalkenträgern der Seitenöffnungen vor. Die Gesamtlänge einschließlich der Seitenöffnungen beträgt 1150 m, die freie Höhe über Hochwasser rd. 52 m, die Scheitelhöhe der Bogenkonstruktion 137 m.

Diese Brücke, deren Konstruktion derjenigen der Hell-Gate-Brücke eng angepaßt ist, wird bei weitem die größte Bogenbrücke der Welt sein, da die nächstgrößte eine Spannweite von nur 305 m hat; sie wird auch zu den größten Brücken überhaupt gehören und nur noch durch die Forth- und die Quebec-Auslegerbrücken übertroffen, von denen die erste 543 m, die zweite 540 m Spannweite hat. Wegen der schweren Ausrüstung mit Eisenbahngleisen und Straßenkörper — es sind vier Gleise und eine Breite von rd. 24,4 m für Straße und Fußwege vorgesehen — wird die Hauptöffnung außerordentliche Abmessungen erhalten und voraussichtlich auch der schwerste Brückenbogen der Welt in einer einzigen Spannweite sein.

Gewisse leichtere Teile sollen australischen Ursprunges sein, der größte Teil des schweren Konstruktionseisens wird aber in den Werken der Gesellschaft in Middlesbrough hergestellt werden. Die Gesellschaft hat vor einigen Jahren in Sydney und Melbourne Bauanstalten eingerichtet. Die Eisenkonstruktion des Bogens soll von beiden Hafenufern aus vorgebaut werden. Der Untergrund besteht in 4,50 m unter Flußsohle aus Felsen, so daß die Gründung der Pfeiler ohne besondere Gründungsmaßnahmen möglich ist. Als Bauzeit sind sieben Jahre in Aussicht genommen. Über die Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit der Wahl einer Bogenbrücke im vorliegenden Fall wird man, besonders im Hinblick auf die Montage, sehr abweichender Meinung sein können. Über den internationalen Wettbewerb für die Sydney-Brücke wurde am 21. Mai d. J. in der Deutschen Gesellschaft für Bauingenieurwesen durch Herrn Dr.-Ing. Georg Müller ein Vortrag gehalten, an den sich eine anregende Aussprache anschloß.

[M 260] Bu.

[1]) „The Engineer" 7. März 1924, S. 253.

Im offenen Flüssigkeitsstrom arbeitende Flügelräder.

Von Dr.-Ing. Eugen Moeller, Darmstadt.

Die „erweiterte Schraubenstrahltheorie" wird unter Berücksichtigung endlicher Flügelzahl und der Reibung analytisch dargestellt und für die Berechnung von Vortriebschrauben und Windrädern geringsten Energieverlustes verwertet.

Die Schraubenräder gewinnen in neuerer Zeit immer mehr an Bedeutung. In der Form der Kaplanturbinen ermöglichen sie hohe spezifische Drehzahlen und gute Anpassungsfähigkeit an wechselnde Gefälle und Wassermengen. Die Windkraftmaschinen werden aus naheliegenden Gründen täglich mehr beachtet, die Größe des Wirkungsgrades von Schiffsschrauben wird geklärt und das Schraubengebläse tritt mit dem Schleudergebläse in erfolgreichen Wettbewerb.

Die Zahl der Schraubentheorien ist groß[1]). Sie soll hier nicht vermehrt werden, sondern wir wollen die gesicherten Erkenntnisse der Aerodynamik so darstellen, daß der praktischen Anwendung keine Schwierigkeiten entgegenstehen. Wir beschränken uns hierbei auf leitradlose Flügelräder (die Räder mit Leitapparat werden in einer späteren Arbeit behandelt werden) und machen folgende Voraussetzungen:

1. Unzusammendrückbare Flüssigkeit oder Zulässigkeit einer solchen Annahme im Betrachtungsfalle.
2. Symmetrische Verteilung der schmalen Flügel in einer Ebene.
3. Giltigkeit des quadratischen Widerstandsgesetzes.
4. Vernachlässigung des Einflusses der radialen Geschwindigkeitsanteile im Schraubenkreis.
5. Die Profilwiderstandszahl sei im Verwendungsbereich dem Auftriebsbeiwert verhältnisgleich.
6. Von einer Beeinflussung der günstigsten Schraubenform durch die Reibung werde abgesehen.

Die allgemeine Aufgabe, Auftriebs- und Widerstandsverhältnisse an einer beliebigen vorgelegten Schraube anzugeben, hat nur in besonderen Fällen (bei Regelfragen) Wert und ist noch nicht gelöst. Wir beschäftigen uns mit Schrauben geringsten Energieverlustes, für die Betz[2]) einige sehr bedeutende Sätze abgeleitet hat; die beiden wichtigsten lauten: „Die Strömung hinter einer Schraube mit geringstem Energieverlust ist so, wie wenn die von jedem Schraubenflügel durchlaufene Bahn (Schraubenfläche) erstarrt wäre und sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit nach hinten verschiebt oder sich mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit um die Schraubenachse dreht." „Bei symmetrischen Schrauben sind die Strömungsgeschwindigkeiten am Flügel halb so groß, wie an den entsprechenden Stellen der Schraubenfläche weit hinter dem Propeller."

Von diesem Satz insbesondere hat Betz in seiner erweiterten Schraubenstrahltheorie[3]) Gebrauch gemacht, wo er für reibungslose Propeller mit unendlich vielen Flügeln angibt, unter welcher Bedingung die Summe der verloren gehenden Energien durch zusätzliche Axialgeschwindigkeit und durch Strahlrotation einen Kleinstwert erreicht.

Um die endliche Flügelzahl der Schrauben zu berücksichtigen, schlagen wir den von Prandtl in einem Zusatz zur erstgenannten Betzschen Arbeit angegebenen Weg ein. Er besteht darin, daß man wegen des Zirkulationsabfalls an den Flügelspitzen einer Schraube mit der Flügelzahl z und dem Halbmesser R_z einen kleineren, hydrodynamisch gleichwertigen Halbmesser R einführt und unendlich viele Flügel annimmt. Die hydrodynamische Gleichwertigkeit besteht darin, daß in beiden Fällen gleich große Störungsgeschwindigkeiten an den Flügeln hervorgerufen werden. (Bei der Schraube unendlicher Flügelzahl sind die Strömungsgeschwindigkeiten in schmalen koaxialen Kreisringen vor, in und hinter der Schraubenfläche unveränderlich, während sie bei Schrauben endlicher Flügelzahl zwischen den Flügeln und an entsprechenden Stellen vor und hinter der Schraube kleiner sind.) Da auch die Reibungsarbeit beider Schrauben mit guter Annäherung gleich groß ist, so haben sie gleichen Wirkungsgrad. Bezeichnen wir mit

H die Ganghöhe der am Ort des Flügelrades in die Flüssigkeit geschnittenen Schraubenflächen und mit

A das Verhältnis der Durchströmgeschwindigkeit der Flüssigkeit am Rande des reduzierten Schraubenkreises zur relativen Umfangsgeschwindigkeit der reduzierten Schraube gegenüber dem wegen des Drehmomentes rotierenden Flüssigkeitsstrahl,

dann ist der Abstand zweier benachbarter Schraubenflächen am Rande

$$a = \frac{H}{z\sqrt{A^2+1}} \quad \ldots \ldots (1)$$

das Maß f für den Zirkulationsabfall längs der Flügel näherungsweise

$$f = \frac{2}{\pi} \arccos e^{-\pi \frac{R_z - r}{a}} \quad \ldots \ldots (2)$$

und der reduzierte gleichwertige Halbmesser unendlicher Flügelzahl annähernd

$$R = R_z - 0{,}2207\, a \quad \ldots \ldots (3).$$

Bei der reduzierten Schraube stehen die Schraubenflächen unendlich dicht, d. h. a wird unendlich klein und die Betzschen Kurventafeln[3]) für Strömungsgeschwindigkeiten gelten über den ganzen reduzierten Schraubenkreis. Für die Übertragung der Geschwindigkeitsverteilungen aus der vereinfachten Betrachtung auf die wirklichen Verhältnisse sind die Bezugshalbmesser nicht zu verändern, vielmehr müssen die außerhalb von R liegenden Flügelteile der wirklichen Schraube berechnet werden, indem man in die Formeln den betrachteten Halbmesser einsetzt und das Ergebnis mit f vervielfacht.

Aus Gl. (3) folgt, daß eine Schraube von gegebener Drehzahl und bestimmtem Durchmesser einen um so besseren Wirkungsgrad besitzt, je mehr Flügel sie hat. (Die gegenseitige Beeinflussung der Flügel bleibt annähernd gleich, da die Belastung des einzelnen Flügels mit deren zunehmender Zahl abnimmt.) Das ist auch leicht verständlich, wenn man bedenkt, daß mit zunehmender Flügelzahl die Strömungsgeschwindigkeiten in koaxialen Strahlringen gleichmäßiger werden. Da, wie wir noch sehen werden, die Breite und damit auch ungefähr die Dicke der Flügel ihrer Anzahl umgekehrt verhältig sein soll, so können bei Versuchen je nach dem Baustoff Ergebnisse gefunden werden, die unserer Folgerung aus Gl. (3) widersprechen. Der Wirkungsgrad der Schrauben hängt sehr von ihrem ruhigen Lauf ab, was am deutlichsten bei Flugzeugpropellern zu beobachten ist und sich durch Abweichen vom quadratischen Widerstandsgesetz geltend macht.

Die Vortriebschrauben.

Ebenso wie man die Strömungsverhältnisse an einer geradlinig bewegten Fläche näher erforschen kann, wenn man die ruhende Fläche durch einen Stoß in Bewegung versetzt denkt[4]), ist das auch bei der Schraube möglich. In unserem Falle handelt es sich um eine starre Schraubenfläche, die plötzlich auf die Axialgeschwindigkeit w gebracht wird. Mit dem Steigungswinkel β werden dann die tangentialen und axialen Geschwindigkeitsanteile der erzeugten Flüssigkeitsströmung

$$w_t = w \cos\beta \sin\beta \quad \ldots \ldots (4),$$

$$w_a = w \cos^2\beta \quad \ldots \ldots (5)$$

Bedeutet v die Fahrgeschwindigkeit, $k = \frac{w}{v}$, r einen beliebigen Halbmesser, $x = \frac{r}{R}$, ω die Winkelgeschwindigkeit der Schraube, und zeigt der Index R einen Sonderwert für den Halbmesser R an, dann erhalten wir für die Schraubensteigung

$$H = 2\pi A R \quad \ldots \ldots (6)$$

die Winkelgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahls im Schraubenkreis

$$\vartheta = \omega \frac{k}{1+k} \cdot \frac{A^2}{A^2+x^2} \quad \ldots \ldots (7),$$

die Axialkomponente der zusätzlichen Strömung im Schraubenkreis

$$w_a = w \frac{x^2}{A^2+x^2} \quad \ldots \ldots (8)$$

und den wirksamen Fortschrittsgrad der reduzierten Schraube

$$A = \frac{v + w_{aR}}{R(\omega - \vartheta_R)} = \lambda(1+k) \quad \ldots \ldots (9)$$

Die Richtigkeit der zweiten Form von Gl. (9) bedarf noch des Beweises, er wird unten gebracht.

[1]) Die wichtigsten Propellertheorien sind von Proell besprochen im Jahrbuch der Schiffbautechn. Ges. 1923.

[2]) Betz, Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust, mit einem Zusatz von Prandtl. Göttinger Nachr. 1919.

[3]) Betz. Eine Erweiterung der Schraubenstrahltheorie, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1920.

[4]) Prandtl, Tragflügeltheorie. Göttinger Nachr. 1918/19.

Der wirksame Fortschrittsgrad A ist größer als der scheinbare Fortschrittsgrad $\lambda = \frac{v}{R\omega}$. Durch die Unterscheidung zwischen A und λ wird die gegenseitige Beeinflussung der Flügel in summarischer, aber vollkommener Weise berücksichtigt. (Für Schrauben mit wenig Flügeln, für welche die Näherungsgleichung (3) nicht mehr genügt, können sich mit fortschreitender Entwicklung der Hydrodynamik verfeinerte Verfahren ergeben.)

Die Zirkulation ist gleich dem Potentialsprung der in der Flüssigkeit zurückgelassenen Strömung, also

$$\Gamma = \frac{4\pi R x w_t}{z} = \frac{2 k v H}{z} \cdot \frac{x^2}{A^2 + x^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Wir zerlegen die im Halbmesser r an einem Flügelelement von der Länge $\mathrm{d}r$ auftretende Kraft in ihre axiale und ihre tangentiale Komponente, Abb. 1, und erhalten nach dem Kutta-

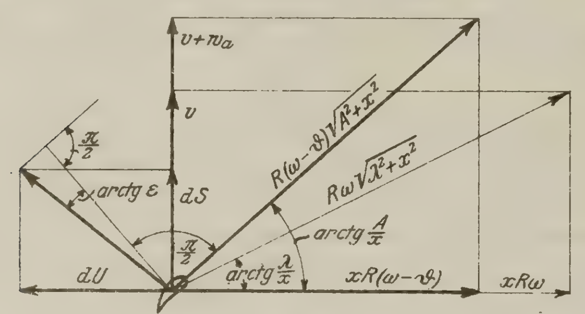


Abb. 1. Relative Geschwindigkeiten und Kräfte an einem Flügelelement.

Joukowskischen Satz die Vortriebskraft für die z gleichen Flügelelemente, wenn ε das Verhältnis des Profilwiderstandes zum Auftrieb angibt,

$$\mathrm{d}S = z\varrho\Gamma R[Rx(\omega-\vartheta) - \varepsilon(v + w_a)]\,\mathrm{d}x$$
$$= 4\pi R^2 \varrho w (v + w_a) \frac{x^3 - \varepsilon A x^2}{A^2 + x^2}\,\mathrm{d}x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

und die Umfangskraft

$$\mathrm{d}U = z\varrho\Gamma R[(v + w_a) + \varepsilon R x(\omega-\vartheta)]\,\mathrm{d}x$$
$$= 4\pi R^2 \varrho w (v + w_a) \frac{A x^2 + \varepsilon x^3}{A^2 + x^2}\,\mathrm{d}x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12).$$

Der Wirkungsgrad eines Flügelelements folgt daraus mit

$$\eta = \frac{v\,\mathrm{d}S}{Rx\omega\,\mathrm{d}U} = \frac{v(\omega-\vartheta)}{\omega(v + w_a)} \frac{1 - \varepsilon\frac{A}{x}}{1 + \varepsilon\frac{x}{A}} = \eta_h\,\eta_m \quad . \quad . \quad . \quad (13).$$

Gl. (13) läßt sich anschaulich deuten. $\frac{\vartheta}{\omega}$ ist nämlich der auf den Wert 1 bezogene Verlust an Drehgeschwindigkeit des Flügelelementes gegenüber dem betreffenden Flüssigkeitsstrahlring, der sich im gleichen Sinn wie die Schraube dreht, und $1 - \frac{v}{v + w_a}$ ist der auf den Wert 1 bezogene Verlust, der durch das axiale Entweichen des Flüssigkeitsstrahlringes bedingt ist. Beide Verluste, wie im ersten Faktor der zweiten Gl. (13) zusammengefaßt, ergeben den hydrodynamischen Wirkungsgrad des Flügelelementes. Es handelt sich nun darum, zu zeigen, daß er von x unabhängig, d. h. über die ganze Flügellänge konstant ist. Wir setzen für ϑ und w die in den Gl. (7) und (8) angegebenen Werte ein und erhalten nach kleiner Umformung

$$\eta_h = \frac{A\left(A - \frac{w}{R\omega}\right) + x^2}{A^2 + x^2\left(1 + \frac{w}{v}\right)}$$

Dieser Ausdruck ist von x unabhängig, wenn $\frac{A - \frac{v}{w}}{A} = \frac{1}{1 + \frac{w}{v}}$

oder $A = \frac{v + w}{R\omega}$.

Setzt man diesen Wert für A dem ersten Ausdruck der Gl. (9) gleich und drückt man ϑ und w_a durch w aus, so bestätigen sich die zweite Gl. (13) und die vorige Angabe, die sich in die Worte fassen läßt: B e i d e r r e i b u n g s l o s e n V o r t r i e b s c h r a u b e g e r i n g s t e n E n e r g i e v e r l u s t e s i s t d i e V e r t e i l u n g d e r S t ö r u n g s g e s c h w i n d i g k e i t e n s o, d a ß a l l e F l ü g e l e l e m e n t e d e n g l e i c h e n W i r k u n g s g r a d h a b e n. Die Strömungsgeschwindigkeiten hat Betz dargestellt[5]). Ihre Betrachtung erleichtert das Verstehen des ersten Betzschen Satzes. Man muß sich vorstellen, daß sich die äußeren Teile des Flüssigkeitsstrahles schneller nach hinten bewegen als die inneren, und daß sich die inneren Teile in d e m Maße schneller drehen als die äußeren, daß sich die durchlaufene Fläche wie eine mathematische Schraubenfläche nach hinten bewegt, wobei in ihr selbst Bewegungen stattfinden[5]). Ihre Steigungen weit vor, in und weit hinter dem Schraubenkreis verhalten sich wie $1 : (1 + k) : (1 + 2k)$, die Durchmesser wie $1 : \frac{1}{\sqrt{1+k}} : \frac{1}{\sqrt{1+2k}}$.

Der Satz vom konstanten hydrodynamischen Wirkungsgrad läßt sich auch beweisen, wenn man nicht, wie oben geschehen, auf den Grenzfall des unendlich großen x ausgeht, wo $w_a = w$ und $\vartheta = 0$ ist, sondern auf den des unendlich kleinen x, wo $w_a = 0$ und $\vartheta = \omega\frac{k}{1+k}$ ist. Ein anderer Beweis ergibt sich, wenn man die aufzuwendenden Leistungen in die des Vortriebs und nach der Tragflächentheorie in die des induzierten Widerstandes zerlegt. Er folgt übrigens auch ohne Rechnung sofort aus der Stoßbetrachtung.

Es sei besonders darauf hingewiesen, daß sich für die Schraube geringsten Energieverlustes keine hydrodynamischen Bedingungen für den günstigsten Nabendurchmesser herleiten lassen. Für solche Schrauben bedeutet das Vorhandensein einer Nabe nur Verlust an „Spannweite" und damit an Wirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad eines Flügelelementes wird durch die Reibung nach Maßgabe des letzten Faktors der Gl. (13) vermindert. Wir wollen diesen, der in anderer Gestalt bekannt ist[6]), den mechanischen Wirkungsgrad nennen. Er ist für kleine Werte von x sehr klein.

Schreiben wir zur Abkürzung

$$X = 2\int_0^1 \frac{x^2}{A^2 + x^2}\,\mathrm{d}x = 2 - 2A\,\mathrm{arctg}\,\frac{1}{A}$$

$$Y = 2\int_0^1 \frac{x^3}{A^2 + x^2}\,\mathrm{d}x = 1 - A^2 \ln\frac{A^2 + 1}{A^2}$$

$$Z = 2\int_0^1 \frac{x^4}{A^2 + x^2}\,\mathrm{d}x = \frac{2}{3} - 2A^2 + 2A^3\,\mathrm{arctg}\,\frac{1}{A}$$

$$\mathfrak{X} = 2\int_0^1 \frac{x^4}{(A^2 + x^2)^2}\,\mathrm{d}x = 2 + \frac{A^2}{A^2 + 1} - 3A\,\mathrm{arctg}\,\frac{1}{A}$$

$$\mathfrak{Y} = 2\int_0^1 \frac{x^5}{(A^2 + x^2)^2}\,\mathrm{d}x = 1 - A^2\left[2\ln\frac{A^2 + 1}{A^2} - \frac{A^2}{A^2 + 1}\right]$$

$$\mathfrak{Z} = 2\int_0^1 \frac{x^6}{(A^2 + x^2)^2}\,\mathrm{d}x = \frac{2}{3} - A^2\left[4 + \frac{A^2}{A^2 + 1} - 5A\,\mathrm{arctg}\,\frac{1}{A}\right],$$

dann erhalten wir für die ganze Schraube die Schubkraft

$$S = 2\pi R^2 \varrho k v^2 [(Y - \varepsilon A X) + k(\mathfrak{Y} - \varepsilon A \mathfrak{X})] \quad . \quad . \quad . \quad (14),$$

die Umfangskraft

$$U = 2\pi R^2 \varrho k v^2 [(A X + \varepsilon Y) + k(A\mathfrak{X} + \varepsilon\mathfrak{Y})] \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

und die aufzuwendende Leistung

$$L = 2\pi R^2 \varrho k v^2 R\omega [(A Y + \varepsilon Z) + k(A\mathfrak{Y} + \varepsilon\mathfrak{Z})] \quad . \quad . \quad (16).$$

Der Wirkungsgrad ergibt sich zu

$$\eta = \lambda\frac{(Y - \varepsilon A X) + k(\mathfrak{Y} - \varepsilon A\mathfrak{X})}{(A Y + \varepsilon Z) + k(A\mathfrak{Y} + \varepsilon\mathfrak{Z})} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

oder zu

$$\eta = \frac{1}{1+k} \frac{1 - \varepsilon A\frac{X + k\mathfrak{X}}{Y + k\mathfrak{Y}}}{1 + \frac{\varepsilon}{A}\cdot\frac{Z + k\mathfrak{Z}}{Y + k\mathfrak{Y}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18),$$

wodurch Formelähnlichkeit mit Gl. (13) hergestellt ist. An Stelle von x erscheinen Mittelwerte, die für mäßige k durch $\frac{Y}{Z}$ und $\frac{Z}{Y}$ ersetzt werden können.

---

[5]) Reißner hat die Stabilität der Bewegung untersucht: „Stationärer Bewegungszustand einer schraubenförmigen Wirbelfläche". Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 1922.

[6]) Moedebecks Taschenbuch für Flugtechniker und Luftschiffer, 4. Aufl., S. 214.

Der für die Leistungsabgabe „wirksame" Halbmesser beträgt

$$r' = \frac{L}{\omega U} = R\,\frac{(A\,Y+\varepsilon\,Z)+k\,(A\,\mathfrak{Y}+\varepsilon\,\mathfrak{Z})}{(A\,X+\varepsilon\,Y)+k\,(A\,\mathfrak{X}+\varepsilon\,\mathfrak{Y})} \quad . \; . \; . \; . \; (19),$$

und der für den Vortrieb wirksame Halbmesser

$$r'' = \frac{1}{S}\int_{x=0}^{x=1} r\,\mathrm{d}S = R\,\frac{(Z-\varepsilon\,A\,Y)+k\,(\mathfrak{Z}-\varepsilon\,A\,\mathfrak{Y})}{(Y-\varepsilon\,A\,X)+k\,(\mathfrak{Y}-\varepsilon\,A\,\mathfrak{X})} \quad . \; . \; (20).$$

Zur mechanischen Ähnlichkeit der Vorgänge an verschiedenen Schrauben gehören gleiche k und gleiche A und daher auch die gleichen mit k und A gebildeten dimensionslosen Größen, z. B. der Leistungsgrad

$$l = \frac{L}{\varrho\,\pi\,R^2\,v^3} = \frac{2\,k\,(1+k)}{A}\,[(A\,Y+\varepsilon\,Z)+k\,(A\,\mathfrak{Y}+\varepsilon\,\mathfrak{Z})] \; . \; (21)$$

und der Drehwert

$$\mu = \frac{L}{\varrho\,\pi\,R^2\,(R\,\omega)^3} = \frac{2\,k\,A^2}{(1+k)^2}\,[(A\,Y+\varepsilon\,Z)+k\,(A\,\mathfrak{Y}+\varepsilon\,\mathfrak{Z})] = l\,\lambda^3 \; (22).$$

Die von A abhängigen Größen können der Abb. 2 entnommen werden.

Für die zu berechnende Schraube ist meist gegeben L, z, ω, R_z und die Fahrtgeschwindigkeit v, der die Schraube am besten angepaßt sein soll. Es handelt sich dann darum, k so zu wählen, daß die Gl. (1), (3), (9) und (16) befriedigt werden. Das ist im allgemeinen nur durch Probieren möglich. Es lassen sich aber ein für allemal Kurventafeln berechnen, aus denen die Veränderlichen entnommen werden können.

So zeigt Abb. 3 beispielsweise die erreichbaren Wirkungsgrade von zweiflügeligen Luftschrauben in Abhängigkeit vom Fortschrittsgrad λ_2 und vom Leistungsgrad l_2 für $\varrho = 0{,}125$ und für $\varepsilon = 1/_{60}$ bei kleinem A und $\varepsilon = 1/_{50}$ bei großem A. Die Änderung des Wirkungsgrades bei der Änderung einer bestimmten Größe ist in Abb. 3 leicht zu verfolgen, wenn man bedenkt,

1. daß bei Änderung der Winkelgeschwindigkeit der Aufpunkt sich parallel zur Abszissenachse verschiebt,
2. daß bei veränderlichem Schraubendurchmesser, aber unveränderlicher Umfangsgeschwindigkeit der Aufpunkt sich parallel zur Ordinatenachse verschiebt,
3. daß bei veränderlichem Schraubendurchmesser, aber konstanter Drehzahl die Aufpunkte auf Parabeln liegen, deren Nullpunkte mit dem Schnittpunkt des Koordinatenkreuzes, und deren Scheiteltangenten mit der Abszissenachse zusammenfallen,
4. und daß bei veränderlicher Fluggeschwindigkeit der Drehwert konstant bleibt.

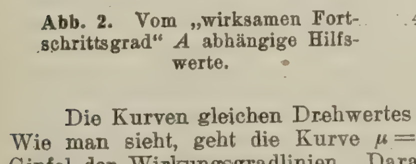


Abb. 2. Vom „wirksamen Fortschrittsgrad" A abhängige Hilfswerte.

Die Kurven gleichen Drehwertes sind in Abb. 3 eingetragen. Wie man sieht, geht die Kurve $\mu = 0{,}0008$ ungefähr durch die Gipfel der Wirkungsgradlinien. Daraus läßt sich schließen, daß zu jeder Motorleistung bei bestimmtem Propellerdurchmesser eine günstigste Drehzahl gehört. In der Tat erhält man mit Hilfe der Begriffsbestimmung von μ

$$n = \frac{60}{\pi\,D}\sqrt[3]{\frac{300\,N}{\mu\,\varrho\,\pi\,D^2}} = \frac{1880}{D}\sqrt[3]{\frac{N}{D^2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (23).$$

Da $n \sim \sqrt[3]{N}$ konst., so gilt das Ergebnis der Gl. (23) auch für den gedrosselten Sparflug. Die sich ergebenden Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten sind verhältnismäßig hoch und stellen ungefähr obere Grenzwerte dar. Für langsame Fahrzeuge (Hubschrauber, Gleitboote) soll von den ermittelten Werten möglichst wenig abgewichen werden, für schnellere (Luftschiffe) und solche, die schwierigen Start haben (Wasserflugzeuge) etwa 20 vH nach unten, und für sehr schnelle etwa 30 bis 40 vH, natürlich immer vorausgesetzt, daß keine unzulässigen Umfangsgeschwindigkeiten auftreten. Selbstverständlich ist die Abweichung nicht so zu verstehen, daß schnelle Fahrzeuge langsam laufende Propeller erhalten sollen; sie ergibt sich daraus, daß schnelle Fahrzeuge starke Motoren und kleine Schrauben erhalten, wodurch sehr hohe Drehzahlen bedingt sind.

Sind zwei Schrauben hintereinander angeordnet, so ist, um ein Bild über den zu erwartenden Wirkungsgrad zu erhalten, der Leistungsgrad aus der Gesamtleistung zu errechnen, falls sie in bezug auf den Schraubenstrahl gleichen Drehsinn haben. Bei entgegengesetzten Drehsinn, der die Regel ist, kann man bei gleichen Drehmomenten von Rotationsverlusten absehen und den Wirkungsgrad nach der einfachen Strahltheorie unter Zugrundelegung eines etwas schlechteren mechanischen Wirkungsgrades berechnen.

Die Verluste durch Rotation des Schraubenstrahls können gesondert ermittelt werden, indem man entweder die Rotationsenergie des Flüssigkeitsstrahles für eine Stelle weit hinter dem Schraubenkreis berechnet, oder indem man vom scheinbaren Verlust an Drehgeschwindigkeit der Schraube ausgeht. Beide Arten bieten keine Schwierigkeiten; aber bequemer und genau genug ist es, in Anlehnung an Gl. (7) zu schreiben

$$\varkappa = \frac{k}{1+k}\,\frac{A^2}{A^2+\left(\frac{Z}{Y}\right)^2}\,\eta_m \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (24).$$

Diese Gleichung gibt das Verhältnis des Leistungsverlustes durch Rotation des Flüssigkeitsstrahles zur Gesamtleistung an, also den höchstens erzielbaren Gewinn an Wirkungsgrad durch Anwendung von Leitschaufeln (Gegenpropellern), wenn an den beschriebenen Strömungsverhältnissen an den Flügeln nichts geändert wird.

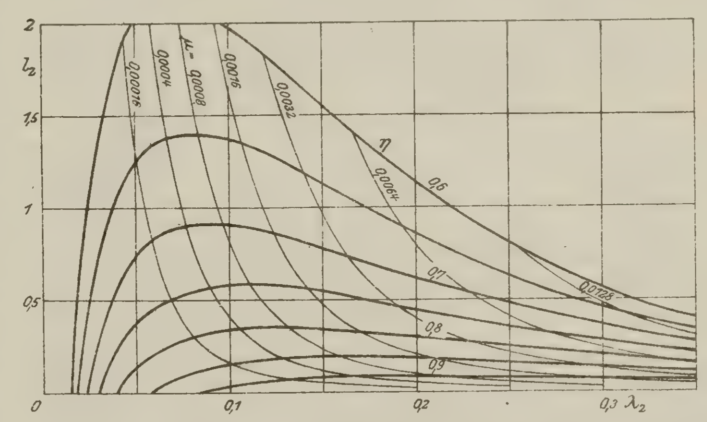


Abb. 3. Wirkungsgrade zweiflügliger Luftschrauben ohne Nabe in Abhängigkeit von Fortschritts- und Leistungsgrad.

Man ersieht daraus, daß Vorrichtungen, um die Rotationsenergie zurückzugewinnen, nur in Frage kommen, wenn k und A groß sind. Natürlich gelten unsre Ableitungen nicht mehr für Schrauben, bei denen die Gleichrichtung des Flüssigkeitsstrahles von vornherein beabsichtigt ist. Bei angepaßter Konstruktion ist der Wirkungsgradgewinn bei solchen Schrauben wegen der in den Strahlquerschnitten unveränderlichen axialen Geschwindigkeit größer. Zur Bestimmung seiner oberen Grenze ist die einfache Strahltheorie heranzuziehen und man erhält

$$\eta_g = \frac{1+2\,k-\sqrt{2\,k\,(Y+k\,\mathfrak{Y})+1}}{2+2\,k}\,\eta_m \quad . \; . \; . \; . \; . \; (25),$$

worin η_m den mechanischen Wirkungsgrad der Schraube und der Leitschaufeln bedeutet.

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit nehmen die Verluste durch Strahldrehungen ab, die Kurven gleicher $\varkappa$ müssen also flacher als die Kurven gleicher μ verlaufen. Die Unterschiede werden aber dadurch gemildert, daß auch R abnimmt und das Drehmoment auf einen Strahl kleineren reduzierten Durchmessers wirkt (die Ungleichförmigkeit des wirklichen Strahles nimmt zu).

Für den Ort x erhält man mittels der Verbindungsgleichung zwischen der Zirkulation und dem Auftriebsbeiwert c_a die Blattbreite

$$t = \frac{8\,\pi\,k\,v}{z\,\omega\,c_a}\,\frac{A\,x^2}{\sqrt{A^2+x^2}\left(\frac{A^2}{1+k}+x^2\right)} \sim \frac{8\,\pi\,k\,v}{z\,\omega\,c_a}\,\frac{A\,x^2}{(A^2+x^2)^{3/2}} \; . \; (26).$$

Hält man c_a über die Flügellänge konstant, etwa in der Absicht, ein $\varepsilon_{\min}$ innezuhalten, dann erhält man Flügel, die von

den gewohnten Formen stark abweichen und vor allem den Fehler haben, nur für die der Berechnung zugrunde gelegten Geschwindigkeitsverhältnisse zu passen. Ändert sich nämlich die Fahrgeschwindigkeit nicht im gleichen Maße wie die Drehgeschwindigkeit, dann werden die Flügelelemente unter anderem Winkel gegen die Flüssigkeit bewegt und die Winkeländerung ist über den Schraubenradius nicht konstant. Demnach werden die neuen Auftriebsbeiwerte der einzelnen Elemente einander nicht mehr gleich sein, und damit wird die ursprünglich beabsichtigte Auftriebverteilung in ihrem Charakter geändert und die induzierte Widerstandsarbeit unnötig vergrößert. Wählt man dagegen die Auftriebsbeiwerte für die einzelnen Bezugshalbmesser so, daß sie sich alle bei den neuen Anstellwinkeln im selben Verhältnis verkleinern oder vergrößern, dann bleibt die Art der Auftriebverteilung ungeändert und der Wirkungsgrad bleibt der bestmögliche. (Durch Anstreben einer Verteilungsart, die für den neuen Betriebszustand die geeigneste ist, läßt sich das Rechenverfahren verfeinern; hiervon sei gegenwärtig abgesehen, da die Theorie der nabenlosen Schraube ohnehin nur einen Grenzfall behandeit.)

Der Steigungswinkel an der Stelle x ergibt sich aus Gl. (6) zu

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{A}{x} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (27).$$

und die verhältnismäßige Winkeländerung bei geändertem A zu

$$\frac{d\beta}{dA} = \frac{x}{A^2 + x^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (28).$$

Sie ist am größten für $x = A$, also für $\beta = 45°$. (Auch hier ist eine Verfeinerung der Betrachtung möglich, wenn man bedenkt, daß sich bei endlicher Flügelzahl R mit A ändert und dadurch gleiche x verschiedene Bezugsradien bedeuten.)

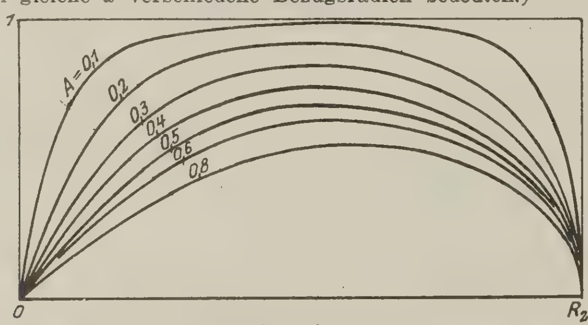


Abb. 4. Breitenverlauf der Flügel von zweiflügligen Schrauben ohne Nabe.

Wir nehmen an, daß der Auftriebsbeiwert eine lineare Funktion des Anstellwinkels ist und setzen ihn der verhältnismäßigen Winkeländerung $\frac{d\beta}{dA}$ verhältnisgleich, und zwar so, daß sein auftretender Größtwert $c_{a_{max}}$ ersichtlich ist. Wir schreiben

$$c_a = c_{a_{max}} \frac{2Ax}{A^2 + x^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (29)$$

und erhalten damit aus Gl. (26) die Blattbreite

$$t = \frac{4\pi k v}{z\,\omega\, c_{a_{max}}} \frac{x\sqrt{A^2 + x^2}}{\frac{A^2}{1+k} + x^2} \sim \frac{4\pi k v}{z\,\omega\, c_{a_{max}}} \frac{x}{\sqrt{A^2 + x^2}} \quad \ldots (30)$$

und die gesamte Flügelfläche ungefähr mit

$$F = \frac{4\pi R k v}{\omega\, c_{a_{max}}} \frac{\sqrt{A^2 + 1} - A}{1 + \varkappa} \quad \ldots \ldots \ldots (31).$$

Die Breite der Flügelelemente ist für kleines k dem Ausdruck $\frac{f x}{\sqrt{A^2 + x^2}}$ verhältnisgleich. (Dabei macht es kaum einen Unterschied, ob das Profil im koaxialen Zylinderschnitt oder im ebenen Schnitt senkrecht zur Flügelrichtung betrachtet wird, denn die Pfeilhöhe der „Skelettkurve", die für den Auftrieb in der Hauptsache maßgebend ist, ändert sich hierbei verschwindend wenig. Die Länge des Profils gemäß Gl. (30) ist auf dem Kreiszylinder zu messen.) Dieser Faktor ist für zweifügelige Schrauben in Abb. 4 über R_2 aufgetragen. Man erkennt, daß die Formen den bewährten Formen der Praxis ähneln; besonders für Schiffschrauben, die im allgemeinen mit hohem A arbeiten, ist die Ähnlichkeit deutlich.

Bei unserer Ableitung der Gl. (30), in welcher der Auftriebsbeiwert nach den Flügelspitzen hin abnimmt, ist auf die Verhältnisse beim Start ohne weiteres Rücksicht genommen. Man braucht nur noch $c_{a_{max}}$ so zu wählen, daß es hierbei nicht zu stark anwächst.

Wichtig ist die Aufgabe, $c_{a_{max}}$ so zu bestimmen, daß bei voller Antriebsleistung, aber verminderter Fahrgeschwindigkeit kein Umlaufabfall eintritt, d. h. daß der Drehwert wirklich konstant bleibt. Zur Lösung ist nur nötig, die mit der Fahrgeschwindigkeit veränderlichen Größen der Gl. (30) so abzustimmen, daß der ganze Ausdruck für einen ausgewählten Punkt, etwa die Flügelmitte, konstant bleibt. Wie die einzelnen Größen sich ändern, läßt sich mit unseren Formeln und mit den nötigen Kurventafeln leicht verfolgen. Man kann für einen gewissen Geschwindigkeitsbereich den passenden Auftriebsbeiwert leicht berechnen, wenn man dessen Abhängigkeit vom Anstellwinkel in eine Formel kleidet, die am besten vom ersten Grade ist. Es sei bemerkt, daß man im allgemeinen sehr hohe Auftriebsbeiwerte und dementsprechend sehr schmale Flügel (in Übereinstimmung mit der Erfahrung) erhält. Wegen des hohen spezifischen Auftriebs beim Start können dann Schlitzflügel zweckmäßig sein. Im allgemeinen ist es nicht möglich, über einen großen Geschwindigkeitsbereich gleichbleibenden Drehwert zu erzwingen. Da aber die günstigste Auftriebverteilung auf einem sehr großen Geschwindigkeitsbereich erreicht werden kann, so ist bei abnehmender Drehzahl (abnehmender Fahrgeschwindigkeit) der Verlust an Zugkraft etwas kleiner als der Verlust an Drehzahl, da der Wirkungsgrad mit abnehmender Belastung steigt.

Ein Schaubenflügel nach Gl. (26) mit konstantem c_a eignet sich zur Verstellung zwecks Anpassung an das Motordrehmoment ohne weiteres nur bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit, ein Flügel nach Gl. (30) eignet sich überhaupt nicht zum Verstellen. Daraus folgt, daß ein Verstellpropeller Flügel haben muß, dessen Breiten zwischen denen nach Gl. (26) und denen nach Gl. (30) liegen. Mit einer solchen Verstellschraube ist es möglich, dauernd mit dem theoretisch erreichbaren Wirkungsgrad und mit der günstigsten Drehzahl zu fahren (hier ist gleichbleibende Flüssigkeitsdichte vorausgesetzt). Bei ihrer Konstruktion kann man entweder von einem beliebigen Verstellungsgesetz oder von einem beliebigen c_a-Gesetz ausgehen. Beiden Gesetzen sind enge Grenzen gezogen, besonders wenn wechselnde Flüssigkeitsdichten zu berücksichtigen sind.

Die am Propeller festzustellende Steigung, die „Sehnensteigung", sagt über ihn nur sehr wenig aus. Rechnerisch verwerten läßt sie sich nur unter groben Vernachlässigungen. Sie hat den Vorzug, leicht meßbar zu sein und hat sich daher allgemein eingeführt. Die Sehnensteigungen der Schrauben nach Gl. (26) nehmen von der Achse nach außen hin ab, wenn der Anstellwinkel negativ ist; sie sind konstant beim Anstellwinkel Null. Die Sehnensteigungen der Propeller nach Gl. (30) haben an der Achse einen relativen Kleinstwert, ungefähr an der Stelle $x = A$ einen absoluten Höchstwert; darüber hinaus nehmen sie dauernd ab und können in Ausnahmefällen negativ werden.

Es können zweierlei Zugkraftkurven konstruiert werden: solche, die zum jeweils besten Propeller gehören (konstanter Drehwert), und solche, die zu einem festgelegten Propeller gehören (mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit zunehmender Drehwert). Beides verursacht keine Schwierigkeiten, solange die günstigste Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten innegehalten wird.

Die allgemeine Schraubenfrage, die die Schraube mit Nabe behandelt, ist theoretisch einfach zu lösen, wenn man sie auf die Frage der nabenlosen Schraube zurückführt. Das ist leicht möglich durch die Überlegung, daß die Nabe, abgesehen von ihrem geringen Eigenwiderstand, den wir zum Widerstand des Fahrzeuges zählen können, keinerlei Änderungen an der Energiebilanz hervorrufen kann, gleichgültig, an welcher Stelle der Schraubenachse sie sich befindet und die Strombahnen auseinander drängt. Sie beeinflußt die Bahnen so, daß sie sich vor ihr etwas stauen, erweitern, mit erhöhter Geschwindigkeit an ihr vorbeifließen und hinter ihr sich mit verminderter Geschwindigkeit wieder zusammenziehen. Der Schraubenkreis schneidet natürlich die Nabe. Die Strahleinschnürung ist daher auf die ungestörte Potentialströmung um die Nabe zu beziehen. — Die durch den Schiffs- oder den Flugzeugrumpf zum Nachströmen veranlaßte bzw. gestaute Flüssigkeit läßt eine erhöhte Zugkraft des Propellers erreichen, die aber durch erhöhte Saug- oder Stauwirkung am Rumpf wieder wettgemacht wird. Sie erscheint zum Teil nur als innere Kraft, weshalb auch die Zugkraftmessungen durch Zugwagen oder durch „Meßnaben" falsche Bilder liefern.

Rechnerisch am einfachsten ist unsre Aufgabe zu lösen, wenn die Nabe als Rotationsellipsoid mit der Schraubenachse als Symmetrieachse betrachtet werden kann, und wenn die Flügel am Orte der größten Nabendicke und senkrecht zur Schraubenachse stehen. Für andre Anordnungen gilt die folgende Lösung nur dem Sinne nach. Es treten dann radiale Komponenten der

eigentlichen und der Störungsströmung auf, die aber bei richtiger Konstruktion den Wirkungsgrad des ganzen Systems nicht ändern.

In unserem Falle, Abb. 5 und 6, hat die störungsfreie Strömung um die Nabe im Schraubenkreis nur axiale Komponenten. Wir lagern diese Strömung über die einer ungestörten Schraube, deren besondere Bedingungen wir noch festlegen, d. h. wir addieren die Axialkomponenten beider Geschwindigkeiten. Die erstere beträgt, wenn $\mathfrak{r}_0$ den Nabenradius und $\mathfrak{r}$ einen beliebigen Radius im Schraubenkreis bedeutet,

$$\mathfrak{v} = v\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}\right)^3\right] \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (32).$$

Die Schraube $\mathfrak{R}$ ist der Schrabe R offenbar gleichwertig, wenn sie beide den gleichen Strahl weit hinter dem Propeller hervorbringen. Es muß also sekundlich die gleiche Flüssigkeitsmenge durch beide Schraubenkreise fließen, und daraus folgt

$$r = \sqrt{\mathfrak{r}^2 - \frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}\mathfrak{r}_0^2}; \quad R = \sqrt{\mathfrak{R}^2 - \frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{R}}\mathfrak{r}_0^2}; \quad x = \sqrt{\frac{\mathfrak{x}^3 - \mathfrak{x}_0^3}{\mathfrak{x}(1 - \mathfrak{x}_0^3)}} \quad . (33).$$

Damit sind wir bereits in den Stand gesetzt, den Wirkungsgrad eines Propellers unendlicher Flügelzahl mit Nabe festzustellen, wenn man von den etwas geänderten Reibungsverhältnissen absieht.

Um die Blattbreite zu berechnen, müssen wir die Zirkulation kennen; diese hängt von der Drehgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahls im Schraubenkreis ab. Wir verlangen, daß weit hinter der Schraube Zustände wie weit hinter einer nabenlosen Schraube eintreten. Wir erinnern an den Impulssatz der Mechanik und schreiben

$$\mathfrak{d} = \vartheta\left(\frac{r}{\mathfrak{r}}\right)^2 = \vartheta\left[1 - \left(\frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}\right)^3\right] = \vartheta\left[1 - \left(\frac{\mathfrak{x}_0}{\mathfrak{x}}\right)^3\right] \quad \ldots . (34).$$

Weiter ergibt sich zwangläufig

$$\mathfrak{w} = w\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{\mathfrak{x}_0}{\mathfrak{x}}\right)^3\right] \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (35)$$

und das nun mit $\mathfrak{x}$ veränderliche $\mathfrak{A} = \dfrac{\mathfrak{v} + \mathfrak{w}_a}{\mathfrak{R}(\omega - \mathfrak{d})}$ . . . . . . (36).

Aus der Bedingung, daß bei der Schraube $\mathfrak{R}_z$ für alle $\mathfrak{x}$ der gleiche Zirkulationsabfall herrschen soll, wie an den entsprechenden x der Schraube R_z, erhält man

$$\mathfrak{a} = a\,\frac{\mathfrak{R}_z - \mathfrak{r}}{R_z - r} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (37)$$

Wir können jetzt die Zirkulation $\mathfrak{C}$ um die Flügel der Schraube $\mathfrak{R}$ angeben, wenn wir in Gl. (10) sämtliche zur Schraube R gehörigen Größen durch die der Schraube $\mathfrak{R}$ ersetzen. Die Blattbreite wird durch

$$t = \frac{2\,\mathfrak{C}}{c_a\,R\,(\omega - \mathfrak{d})\sqrt{\mathfrak{A}^2 + \mathfrak{x}^2}} \quad \ldots \ldots \ldots (38)$$

bestimmt, wobei für die Wahl der c_a-Werte derselbe Gedankengang anzuwenden ist wie oben. Wir gehen von der Steigung aus, die jetzt auch keine Konstante mehr ist. Sie wird

$$\mathfrak{H} = 2\pi\,\frac{\mathfrak{v} + \mathfrak{w}_a}{\omega - \mathfrak{d}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (39)$$

Damit haben wir für die verhältnismäßige Anstellwinkeländerung bei veränderlicher Fahrgeschwindigkeit im Halbmesser $\mathfrak{r}$

$$\frac{d\beta}{dv} = \omega^2\mathfrak{r}^2\,\frac{1 + 0{,}5\left(\frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}\right)^m}{\omega^2\mathfrak{r}^2 + v^2\left[1 + 0{,}5\left(\frac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}\right)^m\right]^2} \quad \ldots \ldots (40),$$

indem wir genau genug die Veränderlichkeit der Steigung durch einen passend gewählten Exponenten für $\dfrac{\mathfrak{r}_0}{\mathfrak{r}}$ berücksichtigen. Die Auswertung geschieht am besten durch Zahlenrechnung.

Das wichtigste Ergebnis unserer Betrachtung ist, daß an der Durchdringungsstelle der Flügel mit der Nabe die Kurve der Zirkulationsverteilung die Nullinie berühren muß, wenn hinter der Nabe oder bei Zugpropellern hinter dem Verkleidungskörper nicht starke Wirbel und Unterdruck entstehen sollen, die natürlich auf die Strömungen an den Flügeln zurückwirken.

Zahlenbeispiel 1. Für eine dreiflüglige Schiffsschraube sei gegeben: Ihre Fahrgeschwindigkeit nach Berücksichtigung des scheinbaren Slips $v = 9{,}05$ m/s, die Antriebleistung $N = 10\,020$ PS, $\omega = 9{,}125\ \mathrm{s}^{-1}$, $R_3 = 3{,}25$ m, $F = 12\ \mathrm{m}^2$, $\varepsilon = 1/40$.

Man findet $R = 2{,}73$ m; zur Berücksichtigung der Nabe runden wir den Wert auf 2,70 m ab. Weiterhin lassen wir die Nabe außer acht. $k = 0{,}23$; $A = 0{,}44$; $H = 7{,}8$ m; $c_{a_{\max}} = 0{,}44$; den Größtwert der Zirkulation mit 6 m²/s für $r = 1{,}80$ m; $\eta = 0{,}77$; $\varkappa = 0{,}047$.

Der Wirkungsgrad der ausgeführten Schraube wird um mehrere Hundertstel hinter unserem Ergebnis zurückbleiben, weil

1. die ungeordnete Zuführung des Wassers zum Propeller Verluste verursacht[7]),
2. die Kavitation, die meist unvermeidlich ist, den Strömungsverlauf an den Flügeln stört[8]),
3. der Zusammenschluß der Strombahnen hinter der Nabe nicht einfach geordnet erfolgt (besonders nicht bei Schrauben mit aufgeschraubten Flügeln).

Wenn Erfahrungszahlen vorliegen, die an Schrauben unserer Berechnungsweise gewonnen sind, kann man die genannten Einflüsse durch die Wahl von ε mit in Rechnung stellen. Es kann sich dann als zweckmäßig erweisen, ε nicht mehr als konstant über die Flügellänge anzusehen. Schon bei unserem Beispiel ist

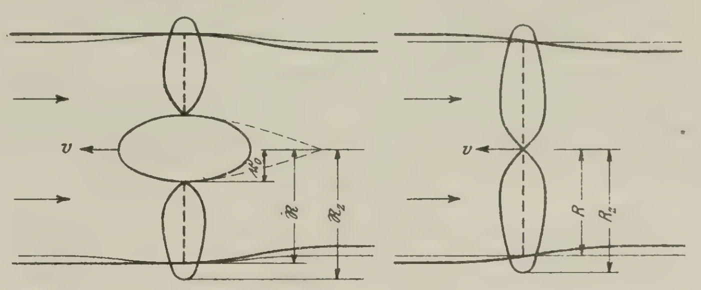


Abb. 5 und 6. Gleichwertige Schrauben mit und ohne Nabe.

wegen der niedrigen Auftriebsbeiwerte (je niedriger, desto geringer die Hohlraumbildung!) ein anderes Gesetz erforderlich; der dem Auftriebsbeiwert entsprechende Widerstandsbeiwert c_w ist etwa konstant zu setzen, $\varepsilon = \dfrac{c_w}{c_a}$ also dem Auftriebsbeiwert umgekehrt verhältig. Steigende Reibungsverluste verbieten demnach zu große Flügelflächen.

Vom Fahrwind angetriebene Windräder,

wie beispielsweise in Flugzeugen zum Antrieb von kleinen Stromerzeugern, sind die unmittelbare Umkehrung der Vortriebschrauben; sinngemäß gelten alle bei deren Besprechung gemachten Aussagen auch hier.

Die im Unendlichen herrschende Relativgeschwindigkeit v der Luft gegenüber der Schraube wird im Schraubenkreis auf $v - w$, weit hinter ihm auf $v - 2\,w$ vermindert. Die Strömung im Schraubenkreis ist so, daß die äußeren Teile des Luftstrahles sich langsamer nach hinten bewegen als die inneren, und daß die inneren Teile im entgegengesetzten Drehsinn der Schraube in dem Maße schneller rotieren als die äußeren, daß die durchlaufene Fläche sich wie eine mathematische Schraubenfläche nach hinten bewegt, wobei in ihr selbst Bewegungen stattfinden. Ihre Steigungen weit vor, in und weit hinter dem Schraubenkreis verhalten sich wie $1 : (1-k) : 1-2\,k)$, die Durchmesser wie

$$1 : \frac{1}{\sqrt{1-k}} : \frac{1}{\sqrt{1-2\,k}}.$$

Außer k ist auch ε negativ in den früheren Formeln einzusetzen, da es der Leistungsabgabe entgegenwirkt.

Die Leistung beträgt

$$L - 2\pi R^2 \varrho\, k\, v^2 R\, \omega\, [(A\,Y - \varepsilon Z) - k\,(A\,\mathfrak{Y} - \varepsilon\,\mathfrak{Z})] \quad . . (16')$$

und der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{L}{v\,S} = (1-k)\,\frac{1 - \frac{\varepsilon}{A}\,\frac{Z - k\,\mathfrak{Z}}{Y - k\,\mathfrak{Y}}}{1 + \varepsilon A\,\frac{X - k\,\mathfrak{X}}{Y - k\,\mathfrak{Y}}} \quad \ldots \quad . . (18').$$

Ortfeste Flügelräder,

zu denen die Windräder und Stromturbinen ohne Leitapparate gehören, unterscheiden sich von den vorigen nur durch eine andere Begriffsbestimmung des Wirkungsgrades. Es ist hier der Einfachheit halber üblich, die Nutzleistung mit der Leistung zu vergleichen, die durch einen ungestörten Querschnitt von der Größe der Arbeitsfläche, die von den Flügeln bestrichen wird, fließt. Diese beträgt

$$L' = \frac{\pi}{2}\,\varrho\, v^3 R_z^2 \quad \ldots \ldots \quad . (16'').$$

[7]) Vergl. v. Kármán und Rubach, „Über den Mechanismus des Flüssigkeits- und Luftwiderstandes", Physikalische Zeitschrift 1912.

[8]) Vergl. Bauer, „Messungen und Untersuchungen an Schiffsschrauben", Jahrbuch der Schiffbautechn. Gesellschaft 1923, oder „Der Schiffsmaschinenbau" 1. Bd.

Wenn das Flügelrad verhältnismäßig viele Flügel hat, so daß $R_z = R$ gesetzt werden kann, wird der Wirkungsgrad eines Flügelelementes

$$\eta = 4k(1-k)\left(1-k\frac{x^2}{A^2+x^2}\right)\frac{x^2-\frac{\varepsilon}{A}x^3}{A^2+x^2} \quad . \; . \; . \; (13'')$$

und der Gesamtwirkungsgrad

$$\eta = 4k(1-k)\left[\left(Y-\varepsilon\frac{Z}{A}\right)-k\left(\mathfrak{Y}-\varepsilon\frac{\mathfrak{Z}}{A}\right)\right] \quad . \; . \; . \; (18'').$$

Die Elemente nahe der Achse haben sowohl einen geringen hydrodynamischen als auch einen geringen mechanischen Wirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad kann im äußersten denkbaren Fall ($\omega = \infty$, $\varepsilon = 0$) den Wert $^{16}/_{27} = 0{,}592$ erreichen; dabei ist $k = 1/3$ und die Geschwindigkeiten vor, in und hinter dem Schraubenkreis verhalten sich wie 3 : 2 : 1.

In Zahlentafel 1 sind die Wirkungsgrade für verschiedene k und A angegeben und zwar für $\varepsilon = 0{,}05$, was für sehr gute Windturbinen gelten kann, und für $\varepsilon = 0{,}01$, was sehr glatten Stromturbinen entsprechen mag. Die minutliche Drehzahl findet sich zu

$$n = \frac{30}{\pi}\,\frac{1-k}{A}\,\frac{v}{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (41)$$

$\frac{R\,\omega}{v}$, das Vielfache der Umfangsgeschwindigkeit von der Windgeschwindigkeit, ist in der Zahlentafel 1 ebenfalls mitgeteilt.

Zahlentafel 1.

$A =$			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$k = 0{,}1$	$\varepsilon = 0{,}05$	$\eta =$	0,205	0,237	0,229	0,211	0,192	0,172
	$\varepsilon = 0{,}01$	$\eta =$	0,289	0,276	0,253	0,228	0,204	0,181
		$R\,n/v =$	86,0	43,0	28,7	21,5	17,2	14,3
		$R\,\omega/v =$	9,00	4,50	3,00	2,25	1,80	1,50
$k = 0{,}2$	$\varepsilon = 0{,}05$	$\eta =$	0,327	0,384	0,376	0,354	0,327	0,299
	$\varepsilon = 0{,}01$	$\eta =$	0,460	0,446	0,415	0,381	0,346	0,314
		$R\,n/v =$	76,3	38,1	25,4	19,2	15,2	12,7
		$R\,\omega/v =$	8,00	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33
$k = 0{,}3$	$\varepsilon = 0{,}05$	$\eta =$	0,380	0,453	0,453	0,436	0,411	0,384
	$\varepsilon = 0{,}01$	$\eta =$	0,533	0,525	0,499	0,468	0,434	0,402
		$R\,n/v =$	66,8	33,4	22,3	16,7	13,4	11,1
		$R\,\omega/v =$	7,00	3,50	2,33	1,75	1,40	1,17
$k = 0{,}4$	$\varepsilon = 0{,}05$	$\eta =$	0,377	0,460	0,472	0,465	0,449	0,428
	$\varepsilon = 0{,}01$	$\eta =$	0,528	0,532	0,518	0,498	0,474	0,447
		$R\,n/v =$	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	9,6
		$R\,\omega/v =$	6,00	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00
$k = 0{,}5$	$\varepsilon = 0{,}05$	$\eta =$	0,333	0,419	0,443	0,451	0,446	0,435
	$\varepsilon = 0{,}01$	$\eta =$	0,466	0,483	0,486	0,481	0,469	0,453
		$R\,n/v =$	47,8	23,9	15,9	11,9	9,6	7,9
		$R\,\omega/v =$	5,00	2,50	1,67	1,25	1.00	0,83

Zahlenbeispiel 2. Ein Windrad von 10 m Dmr. leistet bei einer Windgeschwindigkeit von 6 m/s und bei $\varrho = 0{,}125$ höchstens 6,68 PS. Hierbei ist $k = 0{,}4$, $A = 0{,}3$, $n = 27{,}2$ Uml./min, $H = 9{,}42$ m, $S = 962$ kg.

Zahlenbeispiel 3. Eine vierflüglige Stromturbine von 4 m Dmr. befinde sich in hinreichend großem fließenden Gewässer von 4 m/s Geschwindigkeit weit vor der Schraube. Wir schätzen die Steigung auf 2,36 m bei $A = 0{,}2$ und erhalten für $a = 0{,}57$ m den reduzierten Schraubenhalbmesser $R = 1{,}875$ m. Mit $k = 0{,}4$ ergeben sich 188 PS, $n = 60$ Uml./min und $S = 8100$ kg. Mit $k = 0{,}3$ und $A = 0{,}1$ erhält man günstigere Werte; diese sind indessen sehr stark von ε abhängig.

Durch die Wahl kleiner Auftriebsbeiwerte kann leichtes Anlaufen bei schwachem Wind, durch große Auftriebsbeiwerte eine Begrenzung der Leistung bei starkem Wind erreicht werden. Ferner kann man einen bestimmten Zusammenhang von Windgeschwindigkeit, Leistung und Drehzahl (für elektrischen Betrieb mit Sammlern) erzielen.

Ist an Windrädern mit vielen Flügeln ein konzentrischer Kreis mit dem Halbmesser R' ausgespart, dann ergeben sich die Kräfte und Leistungen aus dem Unterschied zwischen den Rädern mit den Halbmessern R und R'. Für das kleinere Rad ist

$$A' = \frac{A\,R}{R'}.$$

Nimmt man wie üblich $R = 3\,R'$ an und als erreichbaren Wirkungsgrad 0,468, dann erhält man die Leistung in PS ($\varrho = 0{,}125$)

$$N = \frac{\pi\,R_z^2\,v^3}{3000} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (42).$$

Diese Formel ist der verbreiteten, die die Flügelfläche statt der Schraubenkreisfläche einsetzt, vorzuziehen. Denn bei dieser kann der Nenner durch geringe Flügelzahl und durch die Wahl hoher Auftriebsbeiwerte fast beliebig stark herabgesetzt werden. Bei vierflügeligen Rädern wird trotz der bis an die Achse geführten Flügel der Nenner im allgemeinen noch größer als 3000, weil der reduzierte Halbmesser im Einfluß meist überwiegt.

Gl. (42) gilt auch für teilweise verdeckte Walzenräder und für Wasserräder, die nach Art der alten Schiffsmühlen im fließenden Wasser eines Stromes hängen, wenn für πR_z^2 das Produkt aus Walzenlänge W und Eintauchtiefe T eingeführt wird. Leistungverzehrende Wirbel und Reibung setzen den Höchstwirkungsgrad von 0,592 auch hier herab. Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt bei solchen Maschinen etwa 2/3 der ungestörten Strömungsgeschwindigkeit.

Zahlenbeispiel 4. Eine Walzenwindkraftmaschine soll 6,68 PS bei $v = 6$ m/s, $\varrho = 0{,}125$ und einem Verhältnis $W = 2\,T = 2\,R$ leisten. Man erhält $W = 13{,}6$ m und $n = 5{,}6$ Uml./min. — Ein Vergleich mit Beispiel 2 zeigt die Überlegenheit der altbewährten Schraubenräder in bezug auf Gewicht und Drehzahl. Auf den meist höheren Winddruck der Walzenräder sei hingewiesen. [A 249]

Große Motorfeuerspritze.

Die Société SOMUA (Société d'Outillage Mécanique et d'Usinage d'Artillerie) hat vor kurzem für die Stadt Paris eine Motorfeuerspritze abgeliefert, bei deren Entwurf man auf Grund der Erfahrungen der letzten Jahre, insbesondere auch gelegentlich des Warenhausbrandes der Magasins du Printemps im Jahre 1921, besondres Gewicht auf schnelles Erreichen der Brandstelle und Ansaugen des Wassers aus größerer Entfernung, also Unabhängigkeit von Wasserleitungen, gelegt hat.

Das Fahrzeug hat einen aus Walzträgern hergestellten Rahmen von 3,65 m Achsstand 5,65 m Gesamtlänge und rd. 2 m größter Breite und ist mit einer Vierzylindermaschine von 135 mm Zyl.-Dmr. und 170 mm Hub ausgerüstet, die 80 bis 90 PS leistet und mit Benzin, Benzol oder Benzol-Spiritus betrieben werden kann. Der Kühler ist aus abschaltbaren Zellen zusammengesetzt und kann bei Stillstand des Fahrzeuges, wenn die Maschine vollbelastet die Pumpe treibt, durch einen regelbaren Abzweig aus der Pumpendruckleitung entlastet werden. Das vierstufige Wechselgetriebe mit Kardan-Hinterachse ist für eine Höchstgeschwindigkeit von 67 km/h berechnet. Es überträgt ferner mittels einer obenliegenden Nebenwelle den Antrieb von der Wagenmaschine auf die über der Hinterachse gelagerte Feuerlöschpumpe, deren 6 Zylinder im Kreise um die Antriebswelle angeordnet sind und deren Ventilkolben von einer gemeinsamen Taumelscheibe angetrieben werden. Je nach der Einstellung des Übersetzungsverhältnisses im Wechselgetriebe läuft die Antriebswelle der Pumpe mit 170, 200, 275 und 400 Uml./min, was 1020 bis 2400 Pumpenhüben entspricht.

Der Saugraum unter den Zylindern wird aus zwei 150 mm-Anschlüssen gespeist, während das Druckwasser an sechs 100 mm-Rohrstutzen entnommen werden kann. Die Räder haben vorn einfache, hinten doppelte Luftreifen. Vorderrad- und Getriebebremse sind gekuppelt, außerdem ist eine unabhängige Handbremse für die Hinterräder vorhanden. Einschließlich der elektrischen Anlasser- und Lichtanlage wiegt das Fahrzeug mit geschlossenem Kastenaufbau 6,5 t, wovon 4,5 t auf das Untergestell entfallen.

Bei den Übergabeversuchen hat die Pumpe beim Saugen aus einem 2 m unterhalb der Pumpenachse gelegenen Wasserbehälter folgende Ergebnisse geliefert:

	Druckstrahlen Anzahl	Druckstrahlen Dmr. mm	Druck in der Düse at	Förderleistung einzeln m³/h	Förderleistung insgesamt m³/h	Drehzahl der Pumpe Uml./min
1. Versuch von 12 h Dauer:						
a) mit 5,3 at Gegendruck während 6 h	3 1	30 25	5,15 5,20	256,7 53,3	310	425
b) mit 7,6 at Gegendruck während 6 h	2 1	30 15	7,40 7,50	192 16	208	270
2. Versuch von 12 h Dauer:						
a) mit 10,4 at Gegendruck während 6 h	1 1	30 15	10,20 10,30	122,5 28,5	151	205
b) mit 12,2 at Gegendruck während 6 h	1 1	30 10	12,00 12,10	123 12	135	175

Der Benzolverbrauch betrug bei diesen Versuchen 26 l/h. Dauer des Ansaugens aus 9,3 m Tiefe 15 s, aus 3 m Tiefe 5 s. Höchstgeschwindigkeit bei der Fahrt in der Ebene 63 km/h. („Le Génie Civil" 24. Mai 1924.) [M 472]

Wirtschaftlichkeit von Hausrohrpostanlagen[1].

Von Joachim Fritz, Berlin.

Die hauptsächlichsten Rohrpostbauarten unter dem Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit. — Die Art der Ausführung abhängig von der zu erwartenden Sendehäufigkeit. — Erzielung eines wirtschaftlichen Kraftverbrauchs durch genaue Anpassung der Luftfördermenge an die Sendehäufigkeit. — Beschreibung eines Kraftsparventils und von Betriebsluftreglern.

Die bedeutend schnellere und zuverlässigere Beförderung von Schriftstücken und Kleinwaren durch die Rohrpost gegenüber der durch Boten bringt eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Geschäftsbetrieben aller Art mit sich und trägt somit zur Verbilligung der Erzeugnisse bei. Infolge der steten Betriebsbereitschaft werden Sammelsendungen und Stockungen vermieden, und die geschäftlichen Arbeiten wickeln sich ununterbrochen ab. Die Rohrpost bietet daher die Möglichkeit einer besseren Organisation sowie Erhöhung der Ordnung und Wirtschaftlichkeit des Betriebes.

Die am meisten verbreitete Art der Hausrohrpost benutzt die von einem Gebläse erzeugte Saugluft zur Beförderung der Rohrpostbüchsen. Das Gebläse saugt die Luft aus den Rohrpostfahrrohren ab, und die nachströmende Außenluft treibt die Büchsen in den Rohren mit rd. 8 m/s Geschwindigkeit vorwärts. Sowohl für Hin- als auch für Rückbeförderung der Büchsen wird ein Fahrrohr angeordnet. Diese Saugluftanlage mit Doppelrohr ist die einfachste und zugleich leistungsfähigste in bezug auf Sendemöglichkeiten. Die Büchsen werden in die Sender der einzelnen Rohrpoststellen eingeführt und gelangen mit dem Luftstrom in das Saugluftempfangsgerät der Gegenstelle. Infolge ihrer lebendigen Kraft öffnen die Büchsen die Klappe des Empfängers und fallen in einen gepolsterten Auffangkorb oder in eine andre Auffangvorrichtung. Die Bedienung ist also die denkbar einfachste. In kurzen Zwischenräumen können jederzeit Rohrpostbüchsen abgesandt werden, so daß mit dieser Bauart eine äußerst hohe Sendezahl in der Stunde erreicht wird.

Infolge der einfachen Bedienung und der dadurch erreichten hohen Betriebsicherheit wird die Saugluftanlage vorzugsweise bei der Reichspostverwaltung, besonders in Telegraphenämtern, verwendet. Die Anlagekosten stellen sich bei einer solchen Anlage sehr hoch, weil sehr viele Rohre notwendig sind und auch die Maschinenanlage verhältnismäßig stark ausgeführt werden muß. Der Kraftverbrauch hängt in der Hauptsache von Luftmenge und Unterdruck ab, die vom Gebläse aufgebracht werden müssen. Der Unterdruck wird möglichst niedrig gehalten, wodurch ein leichtes Ausschleusen der ankommenden Büchsen aus den Empfangsgeräten erreicht wird. Daher können nicht beliebig viele Saugluftschleifen hintereinander geschaltet werden, wobei die Luftmenge durch mehrere Strecken nacheinander hindurchgesaugt wird.

Infolgedessen ergibt sich aus der Anzahl der notwendigen Ansaugstellen, vermehrt mit der für eine Schleife erforderlichen Luftmenge, die vom Gebläse abzusaugende Luftmenge. Um diese gering zu halten, verwendet man sogen. Wendeklappen, durch die ein Teil der Ansaugöffnungen, die sich bei solchen Anlagen sämtlich in der Zentralstelle befinden, stets zwangläufig geschlossen gehalten wird. Die Sendemöglichkeiten von der Zentrale zu den einzelnen Rohrpoststellen sind alsdann etwas beschränkt. An die von den Unterstellen zur Zentralstelle führenden Rohre werden 2 bis 3 Zwischenstationen entsprechend der Anzahl der Wendeklappen eingeschaltet.

Aus der Saugluftanlage mit Wendeklappen hat sich die vereinigte Saug- und Druckluftanlage, wie sie bei den umfangreichen Rohrpostanlagen zahlreicher Banken und Fabriken ausgeführt ist, entwickelt. Bei dieser Bauart werden die Rohrpostbüchsen von den einzelnen Unterstellen zur Zentrale mit Saugluft in gleicher Weise wie bei der Wendeklappenbauart gesandt, in umgekehrter Richtung jedoch mit Druckluft. Die Anlagekosten einer Rohrpostanlage nach der Saug- und Druckluftbauart stellen sich gewöhnlich niedriger als bei einer Saugluftanlage in gleichem Umfange. In Abb. 1 ist eine Saug- und Druckluftanlage schematisch dargestellt. Die Sendemöglichkeit ist ebenso groß wie bei einer Wendeklappenanlage, jedoch geringer als bei einer Saugluftanlage ohne Anwendung von Wendeklappen.

Die Betriebsweise einer Saug- und Druckluftanlage ist folgende: Die Rohrpostbüchsen werden, nachdem durch Einstellung eines Nummerringes die Zielstelle kenntlich gemacht worden ist, in die Sender der einzelnen Unterstellen eingeführt und von der Saugluft zur Zentrale befördert. Die Bedienungsperson der Zentrale erkennt an der Nummereinstellvorrichtung der Büchse das Ziel, führt die Büchse in denjenigen Druckluftsender ein, der die betreffende Nummer trägt, und stellt die Druckluft an. Die Rohrpostbüchse wird von der Druckluft zum Bestimmungsort getrieben und dort in einem gepolsterten Korb oder im Rohrpostgerät selbst aufgefangen. Die Druckluft wird bei neueren Anlagen bei Ankunft der Büchse selbsttätig abgestellt. Bei älteren Ausführungen tut dies die Bedienungsperson der Zentrale, sobald ein durch Luftdruck bewegtes Signal die Ankunft anzeigt.

Bei den bisher beschriebenen Bauarten sind elektrische Signalanlagen oder elektrisch gesteuerte Teile und elektrische Leitungen mit Kontakten nicht notwendig, da wegen der besondern Rohrführung für Hin- und Rückbeförderung der Büchsen eine Verständigung zwischen den absendenden und empfangenden Stellen nicht nötig ist und ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen den einzelnen Empfang- und Sendegeräten nicht besteht.

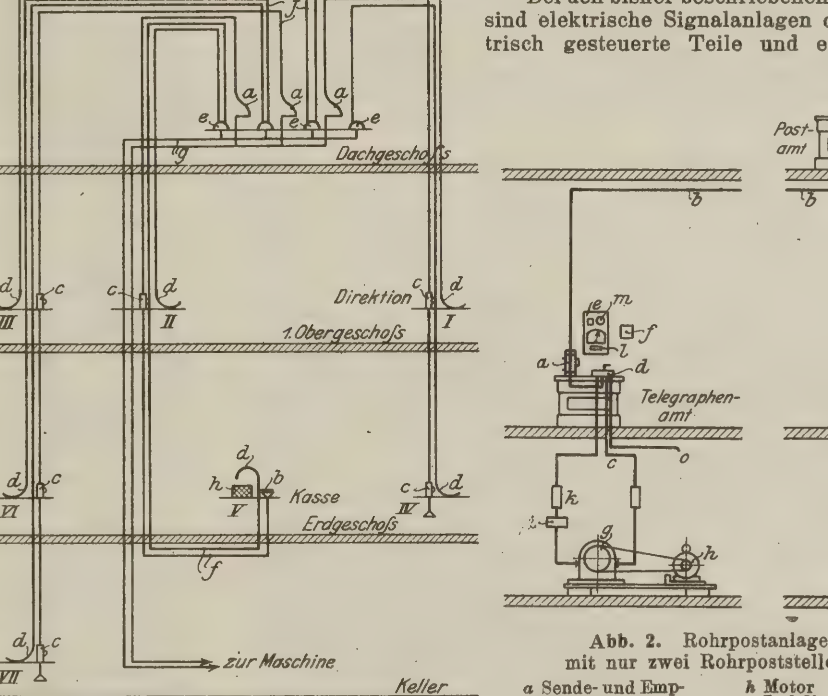


Abb. 1. Saug- und Druckluftanlage.

a Saugluftempfänger
b Saugluftsender
c Zwischensender
d Druckluftempfänger
e Druckluftsender
f Fahrrohr
g Luftrohr
h Empfangskorb

Abb. 2. Rohrpostanlage mit nur zwei Rohrpoststellen.

a Sende- und Empfangsapparat
b Fahrrohr
c Luftrohr
d Umschalthahn
e Schalttafel
f Wecker
g Gebläse
h Motor
i Luftfilter
k Zwischenstück
l Anlasser
m Signallampe
n Druckknopf
o Abluftrohr
p Empfangskorb

Ist die in den Stunden des stärksten Verkehrs in Frage kommende Sendezahl gering, so verwendet man besonders in Fabrikbetrieben, wo die Rohrpoststellen oft verhältnismäßig weit voneinander entfernt liegen, Anlagen nach der Einrohrbauart. Bei diesen werden die Büchsen in demselben Fahrrohr hin- und zurückbefördert. Dabei werden die Anlagekosten durch Rohrersparnis wesentlich herabgesetzt. An Abb. 2 sei die Betriebweise einer solchen Anlage mit nur 2 Rohrpoststellen beschrieben. Nachdem man die abzusendende Rohrpostbüchse in das Sendegerät der Hauptstation, bei der sich die Maschinenanlage befindet, eingeführt hat, wird die Tür geschlossen, der Hebel des Luftumschalthahnes auf „Senden" gestellt und der Motor an-

[1] vergl. Z. Bd. 56 (1912) S. 41.

gelassen. Alsdann wird die Rohrpostbüchse durch die entstehende Druckluft zur Nebenstelle getrieben und fällt dort in den Auffangkorb. Soll eine Büchse von der Nebenstelle zur Hauptstelle gesandt werden, so wird auf elektrischem Wege der Hauptstelle ein Weckerzeichen gegeben. Daraufhin muß der Hebel des Umschalthahnes der Hauptstelle auf „Empfangen“ gestellt und der Motor eingeschaltet werden. Durch den entstehenden Saugluftstrom wird die Büchse zur Zielstelle gesaugt und in dem Rohrpostgerät aufgefangen. Nach Ankunft wird der Motor ausgeschaltet.

In Stunden starken Verkehrs, oder wenn mehrere Einzelrohrstränge an die Zentralstelle angeschlossen sind, kann der Motor dauernd laufen. Alsdann steht der Hebel des Umschalthahnes grundsätzlich auf „Empfangen“, so daß eine Signalabgabe von der Nebenstelle beim Absenden einer Büchse nicht erforderlich ist. Falls der Saugluftstrom aufhört, dürfen keine Rohrpostbüchsen in das Gerät der Nebenstelle eingeführt werden. Dies wird durch Signale oder andre Sperrvorrichtungen erreicht. Ein solcher Fall tritt beim Umschalten der Saugluft auf Druckluft ein, wenn Rohrpostbüchsen von der Hauptstelle zur Nebenstelle gesandt werden. Die Ankunft der Büchse auf der Nebenstelle wird der Hauptstelle durch ein Signal kenntlich gemacht. Die Bedienung ist also in diesem Fall einfacher, weil nur der Hebel des Umschalthahnes auf „Senden“ bzw. „Empfangen“ gestellt und die Signale beachtet werden müssen, während das Ein- und Ausschalten des Motors fortfällt. Mittels eines Selbstanlassers in Verbindung mit Kontakteinrichtungen oder Zeitrelais kann der Motor auch selbsttätig geschaltet werden.

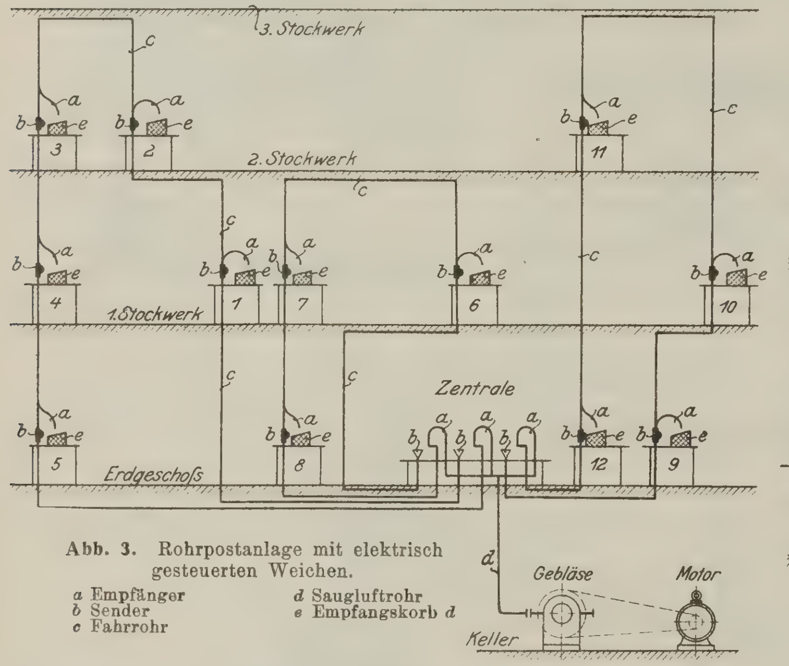
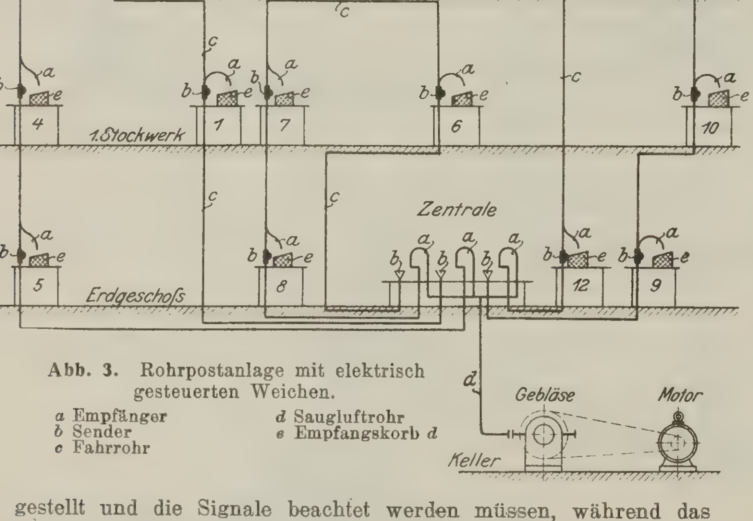



Abb. 3. Rohrpostanlage mit elektrisch gesteuerten Weichen.

a Empfänger
b Sender
c Fahrrohr
d Saugluftrohr
e Empfangskorb *d*

Je nach der Länge der Fahrstrecke können bei einer Einrohranlage, falls der Motor dauernd läuft, 5 bis 20 Sendungen in der Stunde in einer Richtung befördert werden. Wird der Motor nach jeder Sendung von Hand oder selbsttätig ausgeschaltet, so verringert sich die mögliche Sendezahl noch mehr.

Eine weitere Rohrpostanlage, Abb. 3, die in erster Linie die Herabsetzung der Anlagekosten durch Rohrersparnis bezweckt, arbeitet mit elektrisch gesteuerten Weichen. Diese Bauart bietet außerdem die Möglichkeit, daß einzelne oder bei kleineren Anlagen sämtliche Rohrpoststellen ohne Vermittlung einer Zentralstelle untereinander verkehren können, und zeichnet sich durch geringen Platzbedarf für die Zentralstelle aus. Bei jeder Stelle befinden sich so viele Druckknöpfe, wie Stellen in einer Saugluftschleife vorhanden sind. Soll eine Büchse abgesandt werden, so muß der die Zielbezeichnung tragende Knopf gedrückt werden, wodurch die Weiche der Zielstelle gestellt wird. Alsdann wird die in den Sender eingeführte Rohrpostbüchse vom Saugluftstrom zur Bestimmungsstelle befördert und tritt dort selbsttätig aus. Ist eine Büchse unterwegs, so werden die zu überfahrenden Stellen durch Signale oder andre Vorrichtungen gesperrt. Infolgedessen ist die Sendemöglichkeit bei einer Weichenanlage beschränkt. Durch Doppelstränge wird zwar die Leistungsfähigkeit verbessert, jedoch der erstrebte Vorteil der Herabsetzung des Anlagekapitals beeinträchtigt. Die Art der Ausführung hängt also lediglich von der zu erwartenden Sendehäufigkeit ab.

Zur Erzielung der bestmöglichen Wirtschaftlichkeit einer Rohrpostanlage müssen die Anlagekosten und die Betriebkosten möglichst herabgesetzt werden, ohne daß die verlangte Leistungsfähigkeit und andre erstrebte Vorteile vermindert werden. Ersparnisse im Anlagekapital durch Verwendung weniger geeigneten Materials, z. B. von Stahlrohren an Stelle von Messingrohren scheiden aus unserer Betrachtung aus. Es bleibt also zu untersuchen, durch welche Hilfsmittel eine Verringerung des Kraftbedarfes erfolgen kann, nachdem die richtige den Betriebsverhältnissen angepaßte Wahl der Rohrpostanlage stattgefunden hat.

Der Kraftbedarf ist abhängig von der zu befördernden Luftmenge in der Zeiteinheit sowie von dem erforderlichen Betriebs-Unter- bzw. Überdruck. Dieser richtet sich in der Hauptsache nach Länge und Durchmesser der Förderleitungen und dem Gewicht der zu befördernden Rohrpostbüchsen. Das Gebläse — für Rohrpostanlagen eignen sich besonders Kapselgebläse — hat also eine Luftmenge mit bestimmter Pressung zu bewegen, die möglichst klein gehalten werden muß. Diesen Zweck verfolgen bei Anlagen nach der Saugluft- und vereinigten Saug- und Druckluftbauart Vorrichtungen, bekannt unter der Bezeichnung Kraftsparer, die bei der Absendung einer Rohrpostbüchse das betreffende Förderrohr für den Eintritt der Förderluft freigeben, und nach Ankunft der Büchse wieder absperren, so daß nur während der Fahrzeit der Rohrpostbüchsen vom Gebläse Luft durch das betreffende Rohr gesaugt wird.

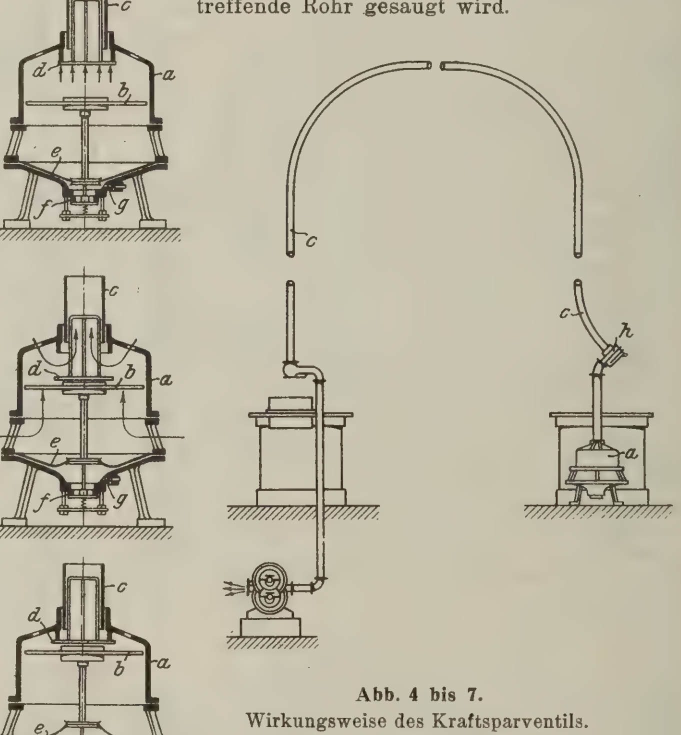


Abb. 4 bis 7.
Wirkungsweise des Kraftsparventils.

Kraftsparventile haben die Aufgabe, die Saugluftfahrrohre von Rohrpostanlagen abzusperren, wenn keine Rohrpostbüchsen gefördert werden.

Abb. 4 bis 7 zeigen die Wirkungsweise des Kraftsparers in drei verschiedenen Stellungen. Er besteht aus einem oben geschlossenen und unten offenen Zylinder *a*, in dem ein scheibenförmiger Kolben *b* auf- und abgleiten kann. An den mit einigen Öffnungen versehenen Deckel des Zylinders ist das Förderrohr *c* angeschlossen. Dieses ist in der Ruhelage durch eine vom äußeren Luftdruck festgehaltene Platte *d* abgeschlossen. Der Kolben *b* steht mittels eines als Führung dienenden Rohres mit einer Membrane *e* in Verbindung. Die Membrane schließt den unteren schalenförmigen Teil des Kraftsparers ab. Dieser hat hier ein Auslaßventil *f* und eine regelbare kleine Öffnung *g*. Abb. 4 zeigt den Kraftsparer in seiner Ruhestellung. Die Platte *d* ist angesaugt und wird vom Luftdruck festgehalten. Sobald nun in dem Rohr *c* zum Abschicken einer Büchse ein Sender *h*, Abb. 7, geöffnet wird, ändert sich der innere Luftdruck des Rohres, er wird gleich dem äußeren Druck; infolgedessen wird die Saugwirkung auf die Platte *d* unterbrochen, diese folgt ihrem Schwergewicht und fällt auf den Kolben *b*, Abb. 5. Nachdem eine Büchse

eingelegt und die Senderklappe h geschlossen ist, steigt der Unterdruck im Rohr durch die Saugwirkung des Gebläses, und die Luftsäule in dem Förderrohr setzt sich in Bewegung. Die Luft strömt durch die Öffnungen des Kraftsparers in das Rohr c. Gleichzeitig wird der Kolben b von der strömenden Luft gehoben. Seine Bewegung ist aber durch die Membrane e verzögert, die sich nur nach Maßgabe der durch die kleine Öffnung g einströmenden Luftmenge bewegen kann. Durch die Regelung der Öffnung g wird die Zeit des Ansteigens der Membrane und des Kolbens entsprechend der Fahrzeit der Büchse geregelt. Hat der Kolben die höchste Stellung erreicht, Abb. 6, so befindet sich die Platte d wieder vor der Mündung des Förderrohres, sie wird angesaugt und durch den äußeren Luftdruck festgehalten. Im Förderrohr findet nunmehr keine Luftströmung statt, von dem Gebläse wird lediglich ein bestimmter Unterdruck aufrecht erhalten.

Nun tritt bei Hausrohrpostanlagen mit zahlreichen Nebenstellen erfahrungsgemäß nie der Fall ein, daß durch alle Förderrohre gleichzeitig Rohrpostbüchsen gesandt werden. Meistens ist die Sendeanzahl eine viel geringere. So beträgt die Anzahl der Sendungen innerhalb von 8 h bei den Rohrpostanlagen von Großbanken, die etwa 20 Saugluftförderrohre besitzen, rd. 4- bis 5000. Es werden dann in der Minute gefördert $\frac{5000}{8 \cdot 60} = 11$ Büchsen. Die Förderzeit einer Büchse beträgt bei 120 m durchschnittlicher Entfernung der Unterstationen von der Zentrale höchstens 20 s. Es werden demgemäß durchschnittlich 4 Büchsen gleichzeitig unterwegs sein. Da die Beanspruchung der Anlage nicht zu jeder Geschäftstunde gleichmäßig ist, so rechnet man, daß im ungünstigsten Falle die doppelte Anzahl — 8 Büchsen — gleichzeitig gefördert werden müssen. Das Gebläse braucht dementsprechend, falls dafür gesorgt wird, daß durch die Fahrrohre nur während der Fahrzeit von Rohrpostbüchsen Luft angesaugt wird, was durch die sogenannten Kraftsparer geschieht, nur $8 \times 3 = 24$ m^3/min zu leisten, während der Kraftverbrauch, der bei sonst gleichen Verhältnissen etwa verhältnisgleich der geförderten Luftmenge wächst, ohne Kraftsparer $20 \times 3 = 60\ m^3$/min entsprechend 20 Saugluft-Förderleitungen, also beinahe dreimal so hoch sein würde. Die minutliche Ansaugleistung des Gebläses in der Saugluft-Förderleitung ist hierbei zu 3 m^3/min angenommen, zutreffend ungefähr bei 70 mm Förderrohr-Dmr. und rd. 10 m/s Luftgeschwindigkeit. Durch den nachträglichen Einbau von Kraftspargeräten, die seit einigen Jahren in Gebrauch sind, ist nachweisbar der Stromverbrauch von Rohrpostanlagen in vielen Fällen um 50 vH herabgesetzt worden.

Die Förderleistung der Gebläse muß, wie bereits erwähnt, mindestens so bemessen sein, daß sie auch ausreicht, wenn gleichzeitig das Doppelte der durchschnittlichen Sendezahl von Rohrpostbüchsen stündlich gefördert wird, weil sonst die Fahrgeschwindigkeit bei starker Beanspruchung sinken würde, wodurch leicht Verstopfungen und andre Störungen entstehen können. Um nun zufällige Überbeanspruchungen des Gebläses zu vermeiden, ist es zweckmäßig, die Rohrpostanlage mit Kolben-Betriebluftreglern auszustatten. Die Wirkungsweise dieser Regler ist dann folgende: Das Gebläse arbeitet während der Zeit, in der weniger Rohrpostbüchsen gesandt werden, auf die Betriebluftregler. Werden gleichzeitig mehr Rohrpostbüchsen befördert, als der Gebläseleistung entspricht, so wird die fehlende Betriebluft dem Betriebluftregler entnommen. Dieser besteht aus einem Behälter, der die Betriebluft für 4 bis 10 Sendungen — (entsprechend einem Inhalte von 1 bis 3 m^3) — aufspeichert. In dem Behälter ist ein Kolben beweglich angeordnet, der dem Betriebdruck, der bei normalen Hausrohrposten 150 bis 500 mm W.-S. beträgt, infolge seines entsprechend bemessenen Gewichtes das Gleichgewicht hält, so daß der Betriebdruck aufrecht erhalten bleibt, auch wenn Außenluft durch die Förderrohre in den Betriebluftregler strömt. Werden mehr Rohrpostbüchsen gesandt, als der Förderleistung des Gebläses entspricht, so strömt die Förderluft durch die betreffenden Saugrohre in den Saugluftregler und bewirkt ein Sinken des angesaugten Kolbens. Werden weniger Büchsen gesandt, so dient die überschüssige Gebläseleistung dazu, den Kolben des Reglers wieder anzusaugen. Tritt eine längere Förderpause ein, so daß die Aufnahmefähigkeit des Reglers nicht ausreicht, so betätigt der Kolben in seiner höchsten Stellung durch Druckluft einen Steuerkolben in der Weise, daß der Steuerkolben den Regler vom Gebläse absperrt und eine Öffnung ins Freie herstellt, so daß das Gebläse unmittelbar aus dem Freien ansaugt, bzw. ins Freie bläst, wodurch der Kraftbedarf des Gebläses infolge des Druckunterschiedes bedeutend sinkt, weil nur die Leerlaufarbeit zu leisten ist. Ist ein Teil der aufgespeicherten Betriebluft verbraucht, so schaltet der Reglerkolben das Gebläse wieder an das Rohrnetz. Durch die Verwendung von derartigen Reglern wird eine äußerst sparsame Arbeitsweise der Rohrpostanlage erzielt. Die Wirkungsweise des Druckluftreglers ist ähnlich der des eben beschriebenen Saugluftreglers.

Bei Rohrpostanlagen, die nur mit Saugluft oder nur mit Druckluft arbeiten, also nur einen Regler besitzen, kann dieser so eingerichtet werden, daß der Kolben in seiner höchsten Stellung durch Kontaktbetätigung den Antriebmotor des Gebläses stillsetzt und nach teilweisem Verbrauch der aufgespeicherten Betriebluft durch Vermittlung eines Selbstanlassers wieder einschaltet, wodurch die Zahl der stündlichen Ein- und Ausschaltungen je nach Größe des Betriebluftreglers verringert wird. Da der Anlaufstrom besonders bei Kurzschlußmotoren sehr hoch ist, so bedeuten die dadurch erzielten Stromersparnisse sowie die Schonung der Anlaßgeräte einen wesentlichen Vorteil.

Für Drücke über 500 mm W.-S., die jedoch bei Hausrohrpostanlagen verhältnismäßig selten vorkommen, sind die Kolbenregler zwecks Aufspeicherung von Betriebluft nicht mehr zu empfehlen, weil die Kolbengewichte zu schwer werden; sie sind jedoch bei geringerem Inhalt und Durchmesser unter Vermeidung von Kontakt-Manometer und elektrischem Relais nur zur Betätigung einer Leerlauf-Schaltvorrichtung noch mit Nutzen zu verwenden.

Ein weiteres erprobtes Verfahren zur Erzielung von Stromersparnissen ist durch die Verwendung eines selbsttätigen Umdrehungsreglers für den Elektromotor gekennzeichnet. Die Umlaufzahl des Gebläses wird bei Anlagen mit Kraftsparern so bemessen, daß die geförderte Luftmenge einer durch Erfahrung festgelegten Höchstzahl von gleichzeitig gesandten Rohrpostbüchsen mit einem Sicherheitszuschlag entspricht. In verkehrsschwachen Stunden, wenn der größte Teil aller Rohre geschlossen ist, saugt das Gebläse die überschüssig erzeugte Saugluftmenge über ein Unterdruckventil an. Die hierfür vom Motor aufgenommene Energiemenge ist verlorene Arbeit. Durch diese Regeleinrichtung der Rohr- und Seilpostanlagen-G. m. b. H. (Mix & Genest) wird die Umlaufzahl des Motors unmittelbar abhängig gemacht von dem im Rohrsystem herrschenden Druck. Mit dem Hauptluftrohr des Gebläses steht ein kleiner Kolben in Verbindung, der in seiner höchsten und tiefsten Lage Kontakte für die Betätigung des Hilfsmotors schließt. Dieser steuert mittels eines Vorgeleges den Nebenschlußregler des Antriebmotors. Ist dieser ein Wechselstrommotor, so wird die Bürstenverschiebung durch den Hilfsmotor bewirkt. Durch diese Einrichtung wird die Stromaufnahme des Antriebmotors den Verkehrsverhältnissen der Rohrpostanlage genau angepaßt. Die durch den Umdrehungsregler sowie die Kraftsparer erzielte Ersparnis beträgt bis zu 80 vH des für dieselbe Anlage ohne diese neuzeitlichen kraftsparenden Mittel erforderlichen Kraftbedarfes.

Die bisher vorherrschende Ansicht, daß Rohrpostanlagen nur der Bequemlichkeit dienen, ohne Anspruch auf Wirtschaftlichkeit zu machen oder für große Geschäftsbetriebe entbehrlich sind, ist durch die Entwicklung der Rohrpostanlagen als Betriebs- und Bureaueinrichtungen in den letzten Jahren widerlegt, und man kann hoffen, daß die Rohrpostanlagen infolge ihrer Wirtschaftlichkeit ebenso wie in den Vereinigten Staaten auch in Europa in Zukunft eine weite Verbreitung finden werden. [A 57]

Energieerzeugung amerikanischer Großkraftwerke[1])

Nach der Zeitschrift „Electrical World“ Bd. 83 (1924) Nr. 15 gibt es gegenwärtig in den Vereinigten Staaten und in Kanada 108 Kraftwerke mit mehr als 100 Mill. kWh Stromabgabe, gegen 94 im Vorjahre; darunter sind 14 Werke, die mehr als 1 Milliarde kWh erzeugen, (im Vorjahr 8). Die gesamte Stromabgabe aller Werke wird mit rd. 52 Milliarden kWh angegeben. Davon entfallen nahezu 40 Milliarden oder 83 vH (!) auf 102 Großkraftwerke der Vereinigten Staaten.

An der Spitze der Vereinigten Staaten steht die Niagara Falls Power Co. mit 2,6 (im Vorjahr 2,25) Milliarden kWh, sodann folgt die Commonwealth Edison Co. (Chicago) mit 2,57 Milliarden kWh (im Vorjahr 2,22) und die New York Edison Co. mit 1,9 Milliarden kWh (im Vorjahr 1,66). Die genannten Unternehmungen werden jedoch noch von der Hydro Electric Power Co. in Ontario (Kanada) mit 2,9 (1922 2,4) Milliarden kWh übertroffen, deren Werke eine Spitzenleistung von 520 000 kW aufweisen, die allerdings von der der Chicagoer Anlagen (625 000 kW) noch überboten wird; auch die New York Edison Co. zeigt eine Erhöhung der Spitzenleistung von 422 000 (1922) auf 555 000 kW (1923). Die beiden größten Wasserkraftunternehmungen Kaliforniens, die Pacific Gas Electric Co. und Southern California Edison Co., weisen Spitzenleistungen von 306 000 und 312 000 kW auf, bei 1,72 bzw. 1,55 Milliarden kWh Jahresabgabe. [M 447] Rb.

[1]) Vgl. Z. Bd. 67 (1923) S. 636.

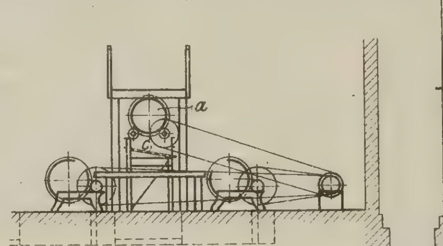
RUNDSCHAU.

Gießerei.

Die Rückgewinnung von Eisen und Koks aus den Gießereihalden.

Die im Laufe der Jahre bei größeren und mittleren Gießereien durch Abfuhr des Gießereiabraums, namentlich der Kuppel-Ofenrestbestände, entstehenden Schutthalden nehmen oft sehr große Abmessungen ein, die, abgesehen davon, daß sie für andre Zwecke nicht benutzbares Gelände bedecken, wie sich herausgestellt hat, auch ansehnliche Mengen von Eisen und Koks enthalten. Wenn erst in neuster Zeit die Aufbereitung solcher Gießereihalden in Angriff genommen worden ist, so geschah dies, weil es bisher an einer einfachen und wirksamen Maschine gefehlt hat, die geeignet ist, die den Abraum bildenden Stoffe zu verarbeiten. Die Schwierigkeit dabei ist, daß diese Stoffe sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung als auch ihrer Festigkeit außerordentlich verschieden sind, selbst wenn sie von derselben Halde kommen.

Bei der Graueschen Schlackenmühle hat man diese Schwierigkeiten dadurch zu überwinden verstanden, daß man in einen nach Art der bekannten Gußputztrommeln angeordneten, sich um seine Längsachse drehenden Blechzylinder mit starker Wandung einen eigenartig gestalteten schweren Brecher lose einlegte, der beim Umlaufen der Trommel das eingebrachte Gut zerreibt und zerquetscht. Durch einen Wasserstrahl werden dabei die gelockerten Sand- und Koksmengen aus dem hohlen Trommelzapfen hinausgespült, während das Eisen gut gewaschen in der Trommel verbleibt, aus der es von Zeit zu Zeit entfernt wird.



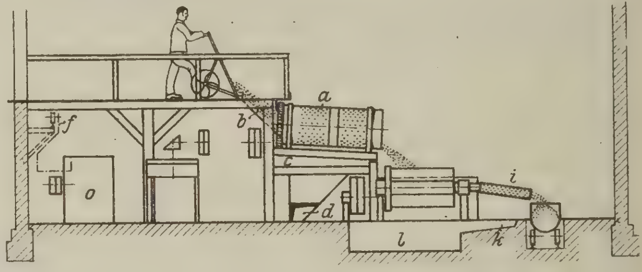


Abb. 1 bis 3.
Rückgewinnungsanlage für Eisen und Koks aus Gießereihalden.

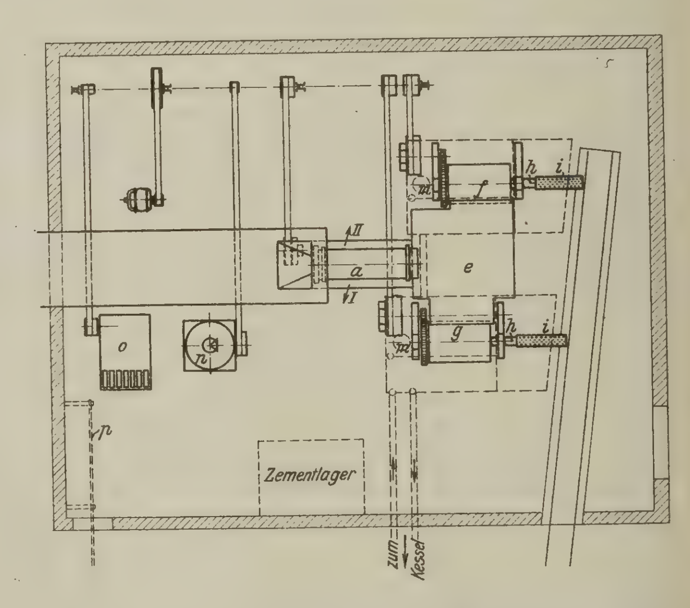
Der Gehalt solcher Halden an Eisen und Koks wird vielfach unterschätzt, er beträgt nicht selten 10 bzw. 5 vH und mehr. Wie dem Verfasser von einer bekannten Eisengießerei in Norddeutschland mitgeteilt wurde, hat diese kürzlich 4000 kg einer seit etwa 10 Jahren lagernden Halde durch eine solche Schlackenmühle geschickt. In 30 Stunden, von denen nur 24 als reine Betriebsstunden zu rechnen sind, wurde als Ergebnis ein Rückstand von 428 kg Eisen und 223 kg Koks gewonnen. Die Koksstücke hatten Walnuß- bis Faustgröße.

In Abb. 1 bis 3 ist eine Aufbereitanlage für Halden[1]) dargestellt, die sich im Betriebe bestens bewährt hat. Durch Handkarren wird das Aufbereitgut von der Halde der Aufbereitanlage über einen in geeigneter Höhe geführten Steg zugefahren und durch Stürzen in einen Trichter b in die Siebtrommel a gebracht. Es steht natürlich nichts im Wege, daß je nach den örtlichen Verhältnissen diese Förderung auch durch Transportbänder oder andere geeignete Vorrichtungen wie Becherwerke, Schüttelrinnen usw. besorgt wird. Die Siebtrommel a wird in der Hauptsache durch einen gelochten Blechzylinder gebildet, der an seinen Enden mittels Laufringen auf Tragrollen drehbar gelagert ist. Durch Zahnkranz mit eingreifendem Ritzel nebst Fest- und Losscheibe wird die Siebtrommel von der Transmission aus betätigt. Der lose dem Haldengut beigemengte Sand wird hier zunächst ausgeschieden und fällt in Pfeilrichtung I durch ein Schüttelsieb c hindurch in einen Blechtrichter mit Auslauf d. Auf dem Schüttelsieb c werden die kleineren Eisenteile, die durch die Löcher der Siebtrommel a mit hindurchfallen, ausgesiebt und fallen in Pfeilrichtung II zu Boden. Die größeren Eisenteile dagegen und die Schlacken rutschen durch die Siebtrommel a hindurch auf die Plattform e, von wo aus sie in die beiden Schlackenmühlen f und g befördert werden. Bei der verschiedenartigen Zusammensetzung der Halde muß die Möglichkeit bestehen, das Gut schneller oder langsamer durch die Siebtrommel a laufen zu lassen. Das wird dadurch erreicht, daß man die Neigung der auf einer Spindel gelagerten Trommel entsprechend der gewünschten Durchflußgeschwindigkeit des Siebgutes einstellt.

Von der Plattform e aus werden die Schlackenmühlen f und g von Hand zunächst bis zu etwa einem Drittel des Fassungsvermögens gefüllt. Beim Drehen der Trommeln zerschlägt der Brecher das Beschickungsgut, während der eingeführte Wasserstrahl zunächst die aus den Schlacken geschlagenen, leichten und deshalb schwimmenden Koksstücke auswäscht. Diese gelangen durch die Hohlzapfen h und die Auslaufsiebe i hindurch in kleine Wagen, die auf einem besondern Schienenstrang laufen. Die schlackigen und sandigen Beimengungen des Trommelinhalts spült das Wasser gleichfalls durch die Hohlzapfen in die Auslaufsiebe i, durch deren Maschen sie in die unter den Schlackenmühlen vorgesehenen Gruben fallen. Sie setzen sich zum größten Teile aber bereits in dem muldenartig gestalteten Becken k ab, während der Rest sich in dem Klärbecken l niederschlägt. Das gereinigte Wasser fließt den Umlaufpumpen m wieder zu. Nachdem die Mühlen etwa 10 Minuten gelaufen sind, sind Koks und der größte Teil der Schlacke ausgewaschen, es empfiehlt sich, nunmehr wieder bis auf ein Drittel des Trommelinhaltes aufzufüllen. Dieser Vorgang kann je nach Beschaffenheit des Gutes noch ein drittes und viertes Mal wiederholt werden. Bis der ganze Schlamm restlos vom Eisen entfernt und ausgespült ist, müssen die Mühlen etwa ¾ Stunden ununterbrochen laufen. Alsdann befindet sich in den Mühltrommeln nur noch metallisch reines Eisen, das nach Öffnen des Verschlußdeckels entfernt wird.

Ist Wasserleitung oder fließendes Wasser zur Verfügung, so empfiehlt es sich, die Wassergrube l mit Zu- und Abflußrohr zu versehen. Bei den durch Abb. 1 bis 3 gekennzeichneten Verhältnissen ist die Grube durch zwei Rohre, die durch Wasserschieber abschließbar sind, mit einem vorbeifließenden Wasserlauf verbunden. Da aber der Wasserlauf erheblich tiefer liegt als die Aufbereitanlage, muß in das Frischwasserrohr eine Handpumpe eingebaut werden. Auf diese Weise ist eine gründliche Reinigung der Wasser- und Klärgruben leicht möglich und ein Verschlammen der Umlaufpumpen ausgeschlossen.

Um auch die Abfallstoffe zu verwerten, hat man in der Nähe des in Pfeilrichtung I fallenden Siebgutes eine Betonmischmaschine n und eine Ambi-Ziegelpresse o aufgestellt. Auch der aus den Klärbecken l der Schlackenmühlen geschöpfte Schlackensand wird in die Betonmischmaschine n aufgegeben und hier mit dem Siebgut und Zement unter entsprechendem Zusatz von Wasser zu einem Betonbrei zusammengerührt. Dieser Brei wird dann auf der Ambi-Presse o zu Bausteinen gewünschter Form gepreßt. Eine Hängebahn p fährt die gepreßten Bausteine an ihren Bestimmungsort.



Da der Gehalt der Halden an Eisen bei längerem Lagern an der Luft durch Verbindung mit Sauerstoff nachteilig beeinflußt wird, empfiehlt es sich, die Graue sche Schlackenmühle in der Gießhalle oder deren Nähe aufzustellen, damit nach jeder Schmelzung der Restinhalt des Kuppelofens aufbereitet werden kann. Auch mit diesem Verfahren sind gute Erfahrungen gemacht worden, wie die dem Verfasser von vorgenannter Gießerei mitgeteilten Versuche beweisen. Es wurden bei einem solchen Versuch von dem täglich zum Schluß der Schmelze fallenden Kuppelofenabraum 444 kg durch die Mühle geschickt. Bei einem Kraftverbrauch von 4 kVAh wurde diese Menge in 65 min verarbeitet, wobei 46,5 kg Eisen und 25,5 kg Koks gewonnen wurden. Bei einem zweiten Versuch mit 246 kg Abraum, 40 min Dauer und 2,5 kVAh Kraftbedarf wurden 47,5 kg Eisen und 24,5 kg Koks erzielt. Die Mühle wird in der vorgenannten Gießerei von einem Hilfsarbeiter bedient und ist seit Monaten in Betrieb, ohne daß ein Verschleiß beobachtet wurde. Der Wert der wiedergewonnenen Eisen- und Koksmengen in Verbindung mit der einfachen Bedienung und der Dauerhaftigkeit der beschriebenen Einrichtung macht sie in kurzer Zeit bezahlt, ganz abgesehen davon, daß sie eine leichte und sichere Überwachung des Schmelzbetriebes darstellt, insofern, als eine zu große Ausbeute an Eisen aus dem Kuppelofenabraum auf eine unzweckmäßige Führung des Schmelzbetriebes hinweist. [R 285]

Hamburg. Prof. Dipl.-Ing. U. Lohse.

[1]) Erbaut von der Graue-A.-G., Langenhagen bei Hannover.

Meßgeräte.

Druckluftmesser und ihre Prüfung.

Druckluftmesser, die hauptsächlich zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Druckluftwerkzeugen dienen[1]), messen den Luftverbrauch während einer entsprechenden Arbeitsleistung in einer Zeiteinheit.

Einen Druckluftmesser der Deutschen Maschinenfabrik A.-G., Duisburg, zeigt Abb. 4. Er besteht im wesentlichen aus einem kegeligen, sich nach oben erweiternden Glasrohr *a*, das auf einem Aluminiumring *i* ruht und gegen das Gehäuse durch eine Stopfbüchse *k* und einen Gummiring *l* abgedichtet ist. Die Luft tritt unter stets gleichbleibendem Druck durch die Einlaßöffnung *b* und treibt den auf der Führung *d* gleitenden Aluminiumschwimmer *e* nach oben. Der Schwimmer wird um so höher getrieben, je größer die durchströmende Luftmenge in der Zeiteinheit ist. Seine höchste Stellung wird durch die Feder *f* begrenzt. Von dort aus gelangt die Luft durch das Gehäuse *g* und den Austrittstutzen *h* zu dem zu untersuchenden Werkzeug.

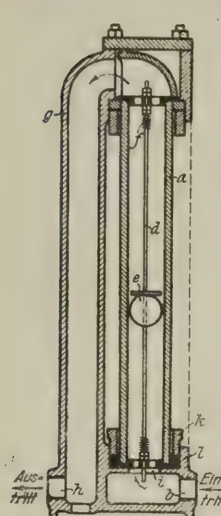


Abb. 4. Druckluftmesser der Demag, Duisburg.

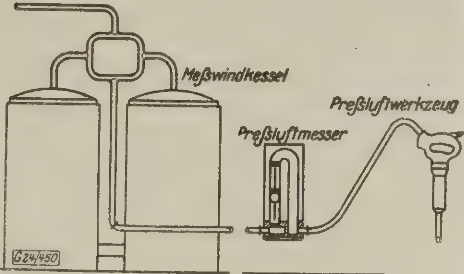


Abb. 6. Versuchsanordnung ohne Stoßwindkessel.

Die Rechnung ergibt, daß bei gleichem Schwimmerstande sich die Geschwindigkeiten der durchströmenden Luft umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten. Ebenso verhalten sich bei gleichem Schwimmerstande die Rauminhalte wie die Wurzeln aus den absoluten Drücken.

Die Rohrskala ist bei 7 at abs für verschiedene Schwimmerstellungen geeicht. Für andre Drücke wird die Ablesung mit der Wurzel aus dem Druckverhältnis multipliziert $\left(V_2 = V_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}\right)$.

Über die Untersuchung eines Druckluftmessers mit freischwebendem Schwimmer entnehmen wir dem „Maschinenbau" Bd. 3 vom 14. Februar 1924 folgende Einzelheiten.

Die Druckluft wurde über eine sogenannte Meßwindkesselanlage, Abb. 5, zum Druckluftmesser geführt. Die Anlage besteht aus zwei zur Hälfte mit Wasser gefüllten Meßwindkesseln von je 500 l Inhalt. Die Druckluft tritt in einen der beiden Kessel oben hinein und drückt das Wasser durch ein beide Kessel verbindendes Rohrstück in den zweiten Kessel, so daß die über dem steigenden Wasserspiegel befindliche Druckluft in den Verbrauchraum gelangt. Sobald aus dem ersten Kessel nahezu alles Wasser in den zweiten gedrückt ist, werden beide Kessel mittels zweier Dreiweghähne umgeschaltet. An einer Skala kann die Luftentnahme genau abgelesen werden. Ein vorgeschaltetes selbsttätiges Druckminderventil hält den Luftdruck bis auf etwa $1/_{50}$ at Genauigkeit gleich. Es wurde nun einmal der Druckluftmesser und das Werkzeug ohne Stoßwindkessel, Abb. 6, und dann mit Zwischenschaltung eines Stoßwindkessels, Abb. 7, angeschlossen. Hierbei zeigte sich, daß der Druckluftmesser im ersten Falle fehlerhaft anzeigte. Der freifliegende Schwimmer stellte sich auf den hohen Luftverbrauch ein und konnte sich bei der raschen Schlagfolge nicht dem tatsächlichen durchschnittlichen Luftverbrauch anpassen. Hämmer mit hohen Schlagzahlen ließen Fehler bis zu 71 vH erkennen.

Durch die Zwischenschaltung eines Stoßwindkessels von 62 l Inhalt, Abb. 7, ergab sich ein Meßunterschied von 10 vH, der sich durch eine andre Eichung beseitigen läßt. Luftmesser andrer Bauart mit schwerem Schwimmer, der außerdem geführt ist, arbeiten mit etwas größerer Genauigkeit. Doch ist es auch hierbei vorteilhaft, wenn mit Stoßwindkesseln gearbeitet wird. Dagegen können Druckluftuhren oder Scheiben-Luftmesser ohne Stoßwindkessel benutzt werden, da sie jede verbrauchte Menge durch Zählwerk und Meßscheibe anzeigen. Die Druckluftuhren müssen jedoch ungefähr jedes halbe Jahr durch eine Meßwindkesselanlage nachgeprüft und mit einer neuen Eichkurve versehen werden. [R 213] Sd.

[1]) s. „Maschinenbau" Bd. 2 vom 28. April 1923.

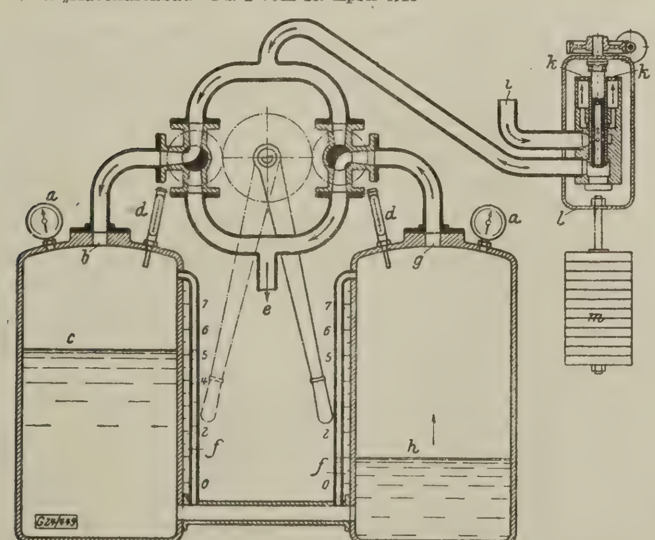


Abb. 5. Meßwindkessel.

a Manometer
b Luftzufuhr
c fallender Wasserspiegel
d Thermometer
e Verbindung zu den Luftdruckwerkzeugen
f Skala in l/min
g Luftentnahme
h steigender Wasserspiegel
i Leitung vom Kompressor
k Auspuff
l Druckminderventil
m Gewichtplatten je 0,5 at.

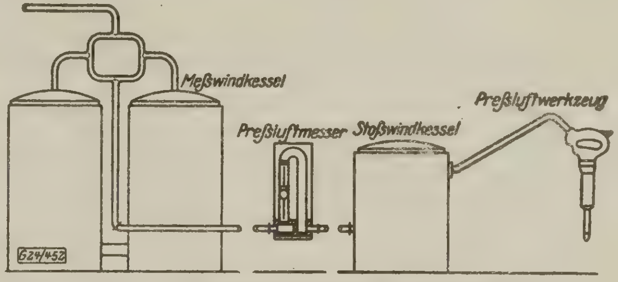


Abb. 7. Versuchsanordnung mit Stoßwindkessel.

Schiffs- und Seewesen.

Technisch-wirtschaftliche Fragen der Motorschiffahrt.

Über dieses Thema hielt Dr.-Ing. Carl Commentz, Hamburg, am 8. April auf dem 11. Deutschen Seeschiffahrtstag in der Handelshochschule, Berlin, einen Vortrag, der vor allem eine Übersicht über die augenblicklichen Grundlagen der Wirtschaftlichkeit von Motorschiffen geben sollte, soweit sie durch die technische Entwicklung gegeben und beeinflußt werden. Wir entnehmen dem Vortrage, der demnächst in der Zeitschrift „Werft, Reederei, Hafen" veröffentlicht werden wird, daß der Bestand der Welthandelsflotte an Motorschiffen trotz der Entwicklung im letzten Jahrzehnt um Mitte 1923 erst etwa 2,7 vH betrug.

Unter den im Jahre 1922/23 gebauten Schiffen haben dagegen bereits etwas über 10 vH Motorantrieb. Unter den am Ende des Jahres 1923 im Bau befindlichen Schiffen sind 26 vH Motorschiffe, und unter den im letzten Vierteljahr 1923 in Auftrag gegebenen Neubauten sogar 45 vH. Bei dieser Entwicklung ist es für den Reeder von größter Wichtigkeit, die wirtschaftlich-technischen Zusammenhänge der Betriebsgrundlagen der Motorschiffahrt kennenzulernen, damit er imstande ist, nicht gefühlsmäßig, sondern auf Grund von Tatsachen zu beurteilen, wo und wann ein Übergang zur Motorschiffahrt zweckmäßig erscheint. Um im einzelnen eine klare Übersicht geben zu können, beschränkte sich der Vortragende auf die Verhältnisse der Frachtschiffahrt und suchte auch in technischer Hinsicht mittlere Verhältnisse der Betriebsbedingungen zugrunde zu legen.

Beim Vergleich der Maschinenleistung von Dampf- und Motorschiffen darf nur die effektive Leistung herangezogen werden, und außerdem ist es unbedingt erforderlich, nur Maschinen normaler und gleicher Umdrehungszahl einander gegenüber zu stellen, da sich sonst Unterschiede der Schraubenwirkung und der Maschinengewichte ergeben, die einen einwandfreien Vergleich unmöglich machen. Den mittleren Einfluß einer von der normalen abweichenden Umdrehungszahl legte der Vortragende dahin fest, daß bei einer Erhöhung dieser Umdrehungszahl um 25, 50, 75 und 100 vH eine Erhöhung der Maschinenleistung um 4,1, 7,9, 11,4 und 15,6 vH erforderlich ist, um dem Schiff eine gleiche Geschwindigkeit zu geben. Es hat sich indes gezeigt, daß sich diese Mehraufwendungen an Maschinenleistung und Brennstoff nicht durch die erzielte Verminderung von Maschinengewicht und Baukosten bezahlt machen, so daß man in neuerer Zeit bei Schiffsmotoren fast allgemein zu ähnlichen Umdrehungszahlen übergegangen ist, wie sie bei Dampfschiffen üblich sind. Infolge der gleichmäßigeren Leistung der Ölmotoren, die im laufenden Betriebe besser aufrechterhalten wird als bei Dampfern, scheint es berechtigt, Motorschiffe für eine gewisse Geschwindigkeit mit einer etwa 5 bis 10 vH geringeren Maschinenleistung auszustatten als Dampfschiffe.

Die Gewichte der gesamten Maschinenanlage stellen sich bei Dampfmaschinen auf 230 bis 290 kg/PS_i, bei leichten Ölmotoren auf 200 bis 300 kg/PS_e, bei schweren auf 240 bis 360 kg/PS_e. Durch die technische Entwicklung des letzten Jahres, durch den Übergang zur Doppelwirkung, durch kompressorlose Bauart, durch Vorverdichtung der Verbrennungsluft und durch andre technische Fortschritte sind wesentliche Gewichtsersparnisse für Schiffsmotoren erzielt worden,

so daß es berechtigt erscheint, bei Vergleichsrechnungen, die den heutigen Stand der Technik berücksichtigen sollen, mit einem Motorgewicht von 200 bis 300 kg/PS_e zu rechnen. (Die gegebenen größeren Zahlen beziehen sich auf kleinere, die kleineren Zahlen auf große Maschinenanlagen.) Durch Anwendung von Übersetzungsgetrieben ließen sich allerdings noch wesentlich geringere Gewichte erzielen. Wenn man die letztgenannten Zahlen zugrunde legt, stellt sich die Bruttotragfähigkeit kleiner Schiffe infolge der leichteren Maschinenanlagen bei Motorschiffen um etwa 3 vH und bei großen Schiffen um 1,8 vH günstiger als bei Dampfern. Die Baukosten der Schiffe werden durch den Einbau von Motoren um etwa 8½ bis 12½ vH vergrößert, wenn man Schiffe gleicher Abmessungen miteinander vergleicht, und um 6½ bis 9½ vH, wenn die Tragfähigkeit gegenübergestellt wird; die kleineren dieser Zahlen gelten für Schiffe mit Dampfbetrieb der Hilfsmaschinen, die größeren für solche mit elektrischem Hilfsmaschinenantrieb.

Wesentlich größer als der Einfluß der Maschinengewichte ist der Einfluß der Verbrauchsgewichte auf die Tragfähigkeit, wobei sowohl die Verbrauchsstoffe für die Fahrt auf See als auch für den Hafenverbrauch eine Rolle spielen. Der Vortragende hat für sechs Frachtschiffe verschiedener Größe von 1800 bis 20 000 t Verdrängung die gesamten Betriebsbedingungen bezüglich Geschwindigkeit, Reiselänge, Hafenaufenthalt usw. festgelegt. Durchschnittlich verbrauchen Motorschiffe 190 bis 235 g/PS_eh Brennstoff, Dampfer unter Einrechnung eines fünfprozentigen Mehrgewichtes für durchschnittliche Minderwertigkeit der Kohle in fremden Häfen je nach Größe der Anlage 0,60 bis 0,85 kg/PS_ih.

Bei Dampfern kommt noch das Gewicht des Zusatzspeisewassers hinzu, das ungefähr rd. 20 vH des Kohlengewichtes beträgt. Im Hafen verbraucht der Dampfer für allgemeine Zwecke (Kesselwarmhalten, elektrisches Licht usw.) etwa 5 bis 10 vH des Verbrauches auf See, für Laden und Löschen für die Tonne Tragfähigkeit etwa 6 kg Kohle und 2,5 kg Wasser. Der Ölverbrauch von Motorschiffen im Hafen stellt sich unter Voraussetzung elektrischen Antriebes der Hilfsmaschinen für allgemeine Zwecke auf nur etwa 10 vH des entsprechenden Kohlenverbrauches bei Dampfern, und für Laden und Löschen nur auf etwa 0,5 kg Öl für die Tonne Ladetragfähigkeit. Bei etwa 196 Seereisetagen im Jahre bei kleinen Schiffen und 228 Seereisetagen bei großen Schiffen sowie bei einem Brennstoffreservegewicht von 25 vH bei kleinen Schiffen und 10 vH bei großen Schiffen stellen sich die gesamten Gewichtsverhältnisse so, daß die Vergrößerung der Nutztragfähigkeit für Ladung bei kleinen Motorschiffen und kurzer Reise (1000 Seemeilen) 9,3 vH beträgt, bei großen Schiffen und langer Reise (9000 Seemeilen) dagegen rd. 25 vH. Dieses Ergebnis zeigt, daß die Mehrkosten des Motorschiffes unter Voraussetzung einer entsprechenden Reiselänge schon durch die effektive Mehrtragfähigkeit an Nutzladung ausgeglichen werden, ganz abgesehen von den Ersparnissen an Brennstoffkosten und Maschinenmannschaft.

Aus den Zusammenstellungen ist ferner ersichtlich, daß beim Motorschiff die Einbuße an Tragfähigkeit durch Brennstoffe usw., bei großen und kleinen Reisen nur sehr geringe Unterschiede aufweist. Es kann also auch ein kleines Motorschiff auf lange Reisen geschickt werden, ohne daß es durch die mitgeführten Verbrauchsgewichte unwirtschaftlich wird.

Die Zahl der Bedienungsmannschaft der Maschinenanlage ist bei kleinen Motorschiffen durchschnittlich um etwa 40 vH, bei großen um 55 vH geringer als bei Dampfern; Doppelschraubenschiffe erfordern eine entsprechend größere Maschinenmannschaft.

Von großer Wichtigkeit für die Motorschiffahrt ist die Frage der Ölförderung und des Verbrauches. Die Ölerzeugung hat im letzten Jahrzehnt sehr stark zugenommen. Der Anteil, der hiervon für Schiffahrtszwecke gebraucht wird, ist verhältnismäßig gering und würde auch keine so entscheidende Rolle spielen, wenn die gesamte Schiffahrt auf motorischen Betrieb umgestellt werden würde. Es scheint allerdings zweifelhaft, ob mit einer weiteren entsprechenden Steigerung der Ölförderung gerechnet werden darf. Ohne Zweifel wird dagegen der Ölverbrauch durch Verwendung zum Betriebe von Kleinmotoren sehr stark steigen, so daß aus diesem Grunde vor einer optimistischen Auffassung der Ölfrage gewarnt werden muß. Es scheint sehr wahrscheinlich, daß mit einer für die Motorschiffahrt ungünstigen Entwicklung des Preisverhältnisses zwischen Öl und Kohle gerechnet werden muß. Eine Preisstatistik aus dem letzten Jahre zeigt vor allem, daß das Preisverhältnis zwischen Öl und Kohle je nach Lage der in Frage kommenden Häfen außerordentlich verschieden ist. In englischen Häfen betrug der Ölpreis für die Tonne etwa 280 bis 350 vH desjenigen von Kohle, in Kapstadt und Bombay bewegte er sich zwischen 180 und 260 vH, in New York zwischen 140 und 200 vH und in Bilbao, San Franzisko und Honolulu zwischen 75 und 90 vH. Der Durchschnittspreis von zwölf Welthäfen ist in den letzten 1¼ Jahren ganz regelmäßig von 180 auf 210 vH desjenigen der Kohle gestiegen. Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die Lage der Öllager zu den Schiffahrtslinien von wesentlicher Bedeutung ist, und daß die amerikanische Schiffahrt in dieser Beziehung außerordentlich bevorzugt ist.

An Schmieröl verbrauchen Schiffsmotoren etwa 2- bis 4mal soviel, in ungünstigen Fällen bei schnellaufenden Motoren sogar 8- bis 10mal soviel wie Dampfmaschinen. Da die Kosten des Schmieröles etwa 10mal so hoch sind wie diejenigen des Brennöles, spielen sie bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Motorschiffen immerhin eine gewisse Rolle.

Die Lebensdauer von Schiffsmotoranlagen beurteilte der Vortragende im Vergleich zu Dampfmaschinen günstig, besonders in Anbetracht dessen, daß der Ersatz einer Kesselanlage nach etwa 15 bis 20 Jahren nicht in Frage kommt. Aus diesem Grunde scheint es berechtigt, die Abschreibung prozentual um ein Geringes kleiner zu halten als bei Dampfmaschinen.

Die Erfahrungen über Instandhaltungskosten der Maschinenanlage sind außerordentlich abweichend voneinander, weil sich die verschiedenen Maschinenbauarten verschieden bewährt haben. Ein wesentlicher Vorteil, sei es zugunsten des Motorschiffes oder des Dampfschiffes, dürfte im Durchschnitt kaum in Frage kommen.

Bezüglich der Raumfrage ist darauf hinzuweisen, daß der Raumbedarf für die Maschinenanlage bei Motorschiffen im allgemeinen wesentlich kleiner ist als bei Dampfschiffen, doch stehen die Vermessungsvorschriften der Ausnutzung dieser Verhältnisse entgegen. Für die ersparten Bunkergewichte wird im allgemeinen kein entsprechend großer Laderaumgewinn erübrigt, bei Frachtschiffen läßt sich der Verlust an Raum aber dadurch ausgleichen, daß das Öl ganz oder teilweise im Doppelboden untergebracht wird. Praktisch dürfte also diese Frage bei Frachtschiffen keine entscheidende Rolle spielen.

Zum Schluß betonte der Vortragende, daß drei technisch-wirtschaftliche Punkte von überragender Bedeutung für die wirtschaftliche Überlegenheit des Motorschiffes sind, nämlich die Brennstoffkosten, die Gewichtersparnisse an Eigen- und Verbrauchsgewichten und die Ersparnisse an Mannschaft. Alle drei sind für große Motorschiffe günstiger als für kleine, vor allem soweit es sich um europäische Schiffahrtsländer handelt, die weit von den Stätten der Ölerzeugung liegen, und daher mit einem ungünstigen Preisverhältnis vom Öl zur Kohle zu rechnen haben.

Der Motorschiffahrt steht eine glänzende Entwicklung bevor, die nicht zum mindesten dadurch ausschlaggebend beeinflußt werden wird, daß die Betriebkosten der Motorschiffe in kurzer Zeit maßgebend für den Frachtenmarkt sein werden, so daß die gesamte Dampfschiffflotte der Welt dann eine plötzliche Entwertung erfahren wird. Beschleunigt wird diese Entwicklung durch die außerordentlich hohen Subventionen werden, die Amerika und England für den Bau von Motorschiffen bereitgestellt haben. Die wirtschaftlichen Aussichten der Weltschiffahrt werden aber durch diese Maßnahmen und überhaupt durch eine außergewöhnlich schnelle technische Veraltung des Hauptteiles der Handelsflotte nicht günstig beeinflußt werden. [M 391]

Feuerungstechnik.

Das Anwendungsgebiet der Kohlenstaubfeuerung.[1])

Gliedert man die Anwendungsgebiete der nicht mit Staub betriebenen Feuerungen nach Temperaturstufen in die Verwendung kalter Verbrennungsluft (z. B. Kessel), vorgewärmter Luft (z. B. Wärmofen mit Rekuperativfeuerung im Walzwerk) und hochvorgewärmter Luft (z. B. Martinofen mit Regenerativfeuerung), so läßt sich sagen:

1) bei einem Kessel, der für die verwendete Kohle richtig bemessen ist, sind Vorteile meist nur dann zu erzielen, wenn man bei Staubfeuerung billigere Kohlensorten verwenden kann. Denn, wenn ein Kessel bei guter Kohle bereits Wirkungsgrade von 80 vH erreicht, so lohnt es nicht, die Kohle zu trocknen und zu mahlen; die Unkosten hierfür sind höher, als die mögliche Verbesserung des Wirkungsgrades. Zudem ist es oft nicht einfach, vorhandene Kessel auf Staubfeuerung umzubauen, da sich die erforderlichen großen Verbrennungsräume oft nur unter Schwierigkeiten schaffen lassen. Es gibt aber eine ganze Reihe von Fällen, wo man billigere Kohle verarbeiten kann;

2) für den Wärmofen mit Rekuperator eignet sich die Kohlenstaubfeuerung vorzüglich;

3) für den Martinofen hat sich die Staubfeuerung bisher nicht bewährt, da sich die Regenerativkammern mit Flugasche verlagern.

Die Kohlenstaubfeuerung gestattet im übrigen gegenüber Rostfeuerung höhere Temperaturen zu erreichen. Sie bietet ferner die Möglichkeit, billigere Brennstoffe zu verarbeiten, und ist drittens eine ganz selbsttätige Feuerung mit den besonderen Vorteilen der Mechanisierung. Diesen Vorzügen stehen die Aufwendungen für Trocknen und Mahlen und die Forderung eines Verbrennungsraumes von beträchlicher Größe gegenüber.

Aus diesen Gesichtspunkten ergibt sich das Anwendungsgebiet. Einige Beispiele hierfür sind im folgenden genannt:

Die Möglichkeit der Temperatursteigerung bringt überall Vorteile mit sich, wo diese Steigerung eine höhere Erzeugung ermöglicht, also höheres Ausbringen des betreffenden Kessels oder Ofens, höhere Verdampfung, kürzeren Wärmevorgang bei hüttenmännischen und andern Öfen. Hierbei verringert sich meist zugleich der Brennstoffaufwand auf die Einheit der Erzeugung, weil der verhältnismäßige Anteil am Strahlungsverlust und auch der Abgasverlust abnimmt; trotz höherer Anfangstemperaturen sinkt nämlich die Temperatur schneller, weil die Menge der Verbrennungsgase infolge geringeren Luftüberschusses kleiner ist. Diese Verhältnisse müssen übrigens bei Öfen berücksichtigt werden, die mit Abhitzekesseln versehen sind, denn infolge der geringeren Abgastemperatur sinkt gegenüber Kohle- oder Halbgasfeuerung die Leistung angebauter Abhitzekessel. Wesentliche Vorteile kann auch die Verkürzung der Anheizzeit geben, die bei Kohlenstaubfeuerung eintritt. Bei Kesseln und Öfen, die nicht dauernd betrieben werden, kann dieser Vorteil entscheidend werden. Allerdings kann bei vollständig ausgekühltem Verbrennungsraum im Anfang auch unvollkommene Verbrennung, und damit unwirtschaftliches Arbeiten eintreten.

[1]) K. Rummel: „Das Anwendungsgebiet der Kohlenstaubfeuerung". „Stahl und Eisen" Bd. 43 (1923) S. 1531.

Der Vorteil der Verwendung billigerer Brennstoffe liegt in der Unabhängigkeit der Staubfeuerung von der Stückgröße und andern Eigenschaften der angelieferten Kohle. Brennstoffe, die von Haus aus in Staubform anfallen, sind hervorragend hierfür geeignet. Hierher gehören z. B. Brikettabrieb und Staub aus der Windsichtung der Kohlenaufbereitanlagen. Brennstoffe, die man wegen ihrer Körnung oder wegen der Eigenart ihrer Schlacke auf Rosten schlecht verarbeiten kann, eignen sich oft für Staubfeuerung. Die Staubfeuerung gestattet auch, sehr wechselnde Brennstoffe zu verwenden, nur müssen dann die Trocken- und Mahlanlagen und die Verbrennungsräume für den ungünstigsten Brennstoff bemessen werden.

In dem etwaigen Fortfall von Rekuperatoren bei Öfen, in der Ersatzmöglichkeit hochwertiger Kohle durch geringere Sorten bei Erzielung gleich hoher Temperatur, endlich in der Möglichkeit, ohne Temperaturverlust mit stark reduzierender Flamme zu arbeiten, liegen weitere Vorteile.

Die Mechanisierung begründet schließlich die stete Betriebsbereitschaft, ferner bei entsprechend guter Aufsicht die vorzügliche Regelbarkeit von Leistung und Temperatur (Temperöfen, Glühöfen). Durch die Mechanisierung wird weiterhin eine gewisse Unabhängigkeit von der Güte der Bedienung erzielt, was z. B. im Vergleich zum Generatorbetrieb wesentlich ist. Der Fortfall des Schürens und Feuerreinigens gestattet durchgehenden Betrieb und daher mitunter höhere Erzeugung. Die leichte Fortleitbarkeit des Staubes macht ferner die Feuerstelle unabhängiger vom Kohlenlagerplatz. Kohlenlager und Aufbereitanlagen können zusammengelegt werden.

Aus der Zahl dieser Beispiele, die noch erhöht werden könnte, erkennt man, daß die Kohlenstaubfeuerung im großen und ganzen in Sonderfällen in Betracht kommt, die aus dem allgemeinsten Rahmen der Feuerungstechnik herausfallen; aber die Zahl und Art dieser Sonderfälle ist so groß und vielfältig, daß ihr ein sehr ausgedehntes Anwendungsgebiet blüht. [M 270]

BÜCHERSCHAU.

Bücher und Zeitschriften des In- und Auslandes, auch solche nichttechnischen Inhaltes, können durch den VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7, Abteilung Sortiment, bezogen werden. Es empfiehlt sich, bei der Bestellung stets den Verleger anzugeben.

Unterrichtsblätter für Heizerschulen, bearbeitet unter Zugrundelegung der von der Zentral-Arbeitsgemeinschaft der Arbeitgeber und Arbeitnehmer Deutschlands in Gemeinschaft mit dem Reichswirtschaftsministerium und einem Ausschuß von techn. Sachverständigen und Vertretern der deutschen Länder aufgestellten Richtlinien und des Lehrplanes für bodenständige Heizerschulen. Von Reg.-Baurat H. Spitznas. München-Berlin 1924, R. Oldenbourg. 2. Aufl. 259 S. 69 Abb. Preis geb. Gm. 6.

Wärmewirtschaft kann nur mit Erfolg getrieben werden, wenn der Heizer mit Verständnis seine Feuer bedient und wenn auch Kesselbesitzer und Betriebsleiter über die einfachsten Grundbegriffe der Feuerungstechnik Bescheid wissen. Nur ein geschulter Heizer ist imstande, den höchsten erreichbaren Wirkungsgrad aus der Kesselanlage herauszuholen und somit Kohlen zu sparen. Aus dieser einfachsten Überlegung entstanden die bodenständigen Heizerschulen; es fehlte jedoch bisher ein einheitlicher Leitfaden für den Unterricht.

Diesem Mangel ist jetzt abgeholfen. Reg.-Baurat Spitznas hat seine in jahrzehntelanger Arbeit als Leiter der staatlichen Heizerkurse gesammelten Erfahrungen im Druck erscheinen lassen. Sein Werk wird von Lehrern und Schülern der Heizerkurse mit Freuden begrüßt werden, es wird aber auch dem Kesselbesitzer und Betriebsleiter in wärmewirtschaftlicher Beziehung manchen guten Rat geben können.

In der richtigen Erkenntnis, daß den am Heizerkursus teilnehmenden Heizern von den alten Schulgrundlagen durch die harte, staubige Arbeit im Kesselhause meist sehr viel verloren gegangen ist, greift der Verfasser weit zurück und beginnt mit dem Aufbau des Maßsystems. Über die Wärmelehre mit den Tafeln für gesättigten Wasserdampf geht es dann weiter zu den Brennstoffen, deren Zusammensetzung, Heizwert und erreichbare Verdampfungsziffer besprochen werden. Sehr eingehend behandelt der Verfasser den Verbrennungsvorgang als wichtigste Grundlage ordnungsmäßiger Bedienung der Feuerungen.

Der Einfluß des Luftüberschusses auf die Temperatur im Verbrennungsraum und auf den Schornsteinverlust wird scharf hervorgehoben; auf die wärmewirtschaftlichen Nachteile unsachgemäßer Bedienung der Feuer, schlechten Zustands der Kesselanlagen und überlasteten Betriebes wird besonders hingewiesen. Vorteile und Nachteile der verschiedenen Kesselarten und Feuerungen und die am häufigsten auftretenden Schäden an den Kesselarmaturen werden erwähnt. Auch auf die Gefahren und Nachteile des Kesselsteins, auf seine Verhütung und auf die verschiedenen Systeme der Wasserreinigung wird hingewiesen.

Das Buch berührt also sämtliche im Kesselbetrieb vorkommenden Fragen und ist eine vorzügliche Unterstützung für Lehrer und Schüler der Heizerkurse. Infolge seines Umfanges wird es vielleicht nicht von allen Heizern in der kurzen Zeit des Unterrichtes voll durchgearbeitet werden können, aber es wird für jeden Heizer stets ein willkommenes Nachschlagewerk bleiben. Der Anhang „Das Arbeitsfeld des Heizers" beleuchtet alle die Fehler, die leider auch heute noch oft in Kesselbetrieben zu finden sind, da das Kesselhaus noch vielfach als Stiefkind der ganzen Anlage behandelt wird. Hier wird besonders auf die Kohlenvergeudung hingewiesen, die noch heute in vielen Kesselbetrieben vorherrscht und die unbedingt vermieden werden könnte, wenn Kesselbesitzer, Betriebsleiter und Heizer die einfachsten Grundbegriffe der Wärmelehre und Wärmewirtschaft beherrschten. In einem praktischen Beispiel zeigt endlich der Verfasser die Berechnung von Wirkungsgrad, Schornsteinverlust und Restverlust einer Kesselanlage.

Das Werk ist als Leitfaden für den Heizerunterricht unentbehrlich; es wird aber auch für Kesselbesitzer und Betriebsleiter von hohem Werte sein, denn jeder, der es mit Verständnis durcharbeitet, kann alle Mängel und Fehler einer Kesselanlage erkennen.

[B 284] Dipl.-Ing. Fritze.

Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. Von Oberingenieur Walter Demuth unter Mitarbeit von Hermann Franz und Kurt Bergk. 2. Aufl. Berlin 1923, Julius Springer. 245 S. mit 132 Abb. Preis geb. Gm. 12.

Fast sämtliche natürlichen Isolierstoffe, wie z. B. Hartgummi, Paraffin usw., die die Elektrotechnik in ihren Anfangsjahren von der Physik übernommen hatte, haben bei den wachsenden Ansprüchen infolge der ständigen Zunahme der zu übertragenden Spannungen versagt. Die künstlichen Isolierstoffe haben daher eine immer größere Bedeutung gewonnen, wobei die sehr verschiedenartigen Verwendungszwecke auch sehr verschiedene Anforderungen stellen, so daß es kaum einen elektrischen Isolierstoff gibt, der für alle Verwendungszwecke geeignet ist. Hinzu kommt, daß neben ausgezeichneten Erzeugnissen, von denen wir erfreulicherweise eine ganze Reihe besitzen, auch immer wieder minderwertige künstliche Isolierstoffe unter hochtönenden Namen auftauchen. Schon aus diesen Gründen ist eine regelmäßige und sorgfältige Untersuchung der „Nichtleiter" besonders wichtig und dies um so mehr, wenn man berücksichtigt, daß die „Leiter" heute auf einer derartigen technischen Höhe stehen, daß Verbesserungen elektrischer Anlagen in erster Linie durch die Verbesserung der Nichtleiter zu erwarten sind. Auch ist es ein oft empfundener Mangel, daß der Elektroingenieur den neuen Isolierstoffen fast hilflos gegenübersteht, da ihm eine zuverlässige Übersicht über ihre Zusammensetzung, ihre mechanischen und elektrischen Eigenschaften, ihre Verarbeitungs- und ihre Verwendungsmöglichkeiten bisher gefehlt hat.

Das Erscheinen des Demuthschen Werkes, das in knapper und handlicher Form eine Technologie der Isolierstoffe darstellt, ist daher sehr zu begrüßen. Das Bedürfnis der Praxis nach einem derartigen Buche wird dadurch bewiesen, daß der ersten Auflage so schnell die zweite folgen konnte. In dieser sind alle inzwischen bekannt gewordenen neuen Forschungsergebnisse und Prüfvorschriften des VDE berücksichtigt worden. Hinsichtlich der Einteilung des Stoffes ist eine kleine Verschiebung eingetreten, so daß der erste Teil die festen, der zweite Teil die flüssigen Isolierstoffe einschließlich der erhärtenden Lacke u. dergl. behandelt. Innerhalb dieser Abschnitte werden die in Frage kommenden Prüfverfahren, besonders die vom VDE vorgeschriebenen, und die erforderlichen Prüfmaschinen und Sondereinrichtungen dargestellt. Den Schluß bilden ein Literatur- und ein gut durchgearbeitetes Sachverzeichnis.

Das auch druck- und buchtechnisch vorzüglich ausgestattete kleine Werk kann jedem Ingenieur, der mit der Prüfung von Isolierstoffen oder der Konstruktion von Hochspannungsapparaten zu tun hat, nur warm empfohlen werden. [B 241] Wallich.

Zeitschriftenschau für das gesamte Bauingenieurwesen. Herausgegeben vom Verlag der Zeitschrift „Die Bautechnik". Berlin 1924, Wilhelm Ernst & Sohn. Preis Viertelj. Gm. 1.

Diese Zeitschriftenschau beschränkt sich nicht auf den Wasserbau, wie ihre Vorgängerin, die im Auftrage des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten herausgegeben wurde, sondern sie erhebt Anspruch darauf, dem Bauingenieur ein Berater in der Fachliteratur seines ganzen Arbeitsgebietes zu sein. Wenn man ihre Systematik von 20 Hauptgruppen als ihr Arbeitsprogramm ansehen darf, dann kann sie die Aufgabe erfüllen. Auch die Liste der regelmäßig bearbeiteten Zeitschriften ist reichlich und enthält besonders auch eine stattliche Zahl ausländischer Zeitschriften des Bauingenieurwesens. Die Zeitschriftenschau wird zur Verwendung in Karteien in einseitigem Druck hergestellt und kann auch für sich als Sonderdruck bezogen werden. Die Hinweise selbst sind knapp, klar und erschöpfend abgefaßt und in die Systematik zutreffend eingeordnet. Das Einordnen der Einzelberichte in Karteien wird dadurch vereinfacht, daß jeder Bericht die Systemzahl und eine enggefaßte Bezeichnung des Sondergebietes in Fettdruck am Kopf trägt. Druck und Ausstattung sind sauber und zweckmäßig.

Ergebnisse von Versuchen für den Bau warmer und billiger Wohnungen an den Versuchshäusern der Norwegischen Technischen Hochschule. Von Andr. Bugge. Übers. von Frhr. Grote. Berlin 1924, Julius Springer. 124 S. Preis Gm. 6,60.

Das Sprengluftverfahren. Von Leopold Lisse. Berlin 1924, Julius Springer. VII, 109 S. mit 108 Textabb. Preis Gm. 5.

Japanisch-Deutsche Zeitschrift für Wissenschaft und Technik (Nichi-Doku-Gakugei) Kobe (Japan) 1924. Preis Gm. 0,40.

Herausgegeben von Professor Dr. A. Sata mit Unterstützung des Deutsch-Japanischen Vereins in Osaka, des Instituts für Kultur- und Universalgeschichte bei der Universität Leipzig, Direktor Prof. Dr. Goetz, und des Ostasiatischen Seminars der Universität Leipzig, Direktor Prof. Dr. Conrady. Schriftleitung in Japan: Prof. Dr. Sata,

Prof. Dr. Härtel und Prof. Dr. Ueberschaar an der Medizinischen Akademie in Osaka, in Deutschland: Prof. Dr. Doren, Prof. Dr. Haas, Prof. Dr. Rassow, Prof. Dr. Spalteholz, Prof. Dr. Sudhoff und Dr. Wedemeyer an der Universität Leipzig.

Heft 1 des 2. Jahrganges (Januar 1924) enthält folgende Aufsätze: R. Eucken: Die Bedeutung des wissenschaftlichen Zusammenstrebens der Völker. R. Gaupp: Die Geisteskrankheiten in und nach dem Weltkriege. M. Rudeloff: Das Materialprüfungswesen für Gießereien auf der Gießereifachausstellung 1923 zu Hamburg. E. Sachsenberg: Der Rhythmus der Arbeit.

Der Konzern als Wirtschafts- und Kulturproblem. Von Otto Röse. Breslau 1924, Wilhelm Korn. 44 S. Preis Gm. 1,65.

Die Umstellung auf Gold in der Selbstkostenberechnung, Preisberechnung und Bilanzierung (Goldrechnung und Goldbilanz). Von Otto Schulz-Mehrin. Berlin 1924, Julius Springer. 97 S. mit 3 Abb. Preis Gm. 2,40.

Patent laws of the world by Berthold Singer. 1924. Alleinvertrieb für Deutschland durch C. Heimanns Verlag, Berlin. 303 S. Preis geb. Gm. 28.

Kleine Literaturführer Bd. 5: **Die besten deutschen Memoiren.** Lebenserinnerungen und Selbstbiographien aus sieben Jahrhunderten. Von M. Westphal. 423 S. Preis Gz. 3,50. Bd. 6: **Kunstgeschichte und Kunstwissenschaft.** Von M. Timmling. Leipzig 1923, Kochler & Volkmar A.-G.- & Co. 304 S. Preis Gz. 3.

ZUSCHRIFTEN AN DIE REDAKTION.

Luftfahrt und Technik.

Herrn Prof. Dr. Everling scheint bei Abfassung seines Aufsatzes „Luftfahrt und Technik“[1]) an der Stelle, wo er über den Leichtstoffbau sprach, **ein Werkstoff nicht bekannt gewesen zu sein, der auf Grund seiner physikalischen Eigenschaften heute mit an erster Stelle unter den Leichtmetallen steht, nämlich das Elektronmetall.**

Wenn man die vom Verfasser in der Fußnote 2 auf S. 491 angezogene Reißlänge als Vergleichsmaßstab beibehalten will, so errechnet sich für eine stahlähnliche Elektronmetall-Legierung mit $k_z = 44$ kg/m² und einer Wichte von 1,82 t/m³ die Reißlänge $L = \sim 24$ km. Wenn also Prof. Everling schreibt, daß der Leichtstoffbau bis zum Duralumin gediehen wäre, so zeigen die vorstehenden Zahlen, daß das Elektronmetall diese Werte bereits hinter sich zurückgelassen hat. Auch bezüglich der Dehnungslänge (Elastizitätszahl durch Wichte) ist Elektronmetall heutigem Konstruktionsstahl überlegen.

Frankfurt a. M. Dipl.-Ing. R. Neuwahl.

Leichtbau und Knicksicherheit.

Unter der Überschrift „Luftfahrt und Technik“ behandelt Professor Dr. Everling[1]) in Umrissen einen Gegenstand, der von tragender Bedeutung für die zukünftige Entwicklung der Technik zu werden verspricht: den Leichtbau. Die Übertragung der zuerst in der Luftfahrt gesammelten Erfahrungen auf andre Gebiete der Technik wird wesentlich erleichtert durch die klare Erkenntnis und Darstellung der großen Gesichtspunkte, von denen aus der Leichtbau betrachtet werden kann. Denn das Gefühl allein wird einen Konstrukteur in seiner Unbewußtheit nur auf den einen oder anderen Weg leiten, der zum Leichtbau führt; aber der Verstand kann die Gesamtheit aller Wege zu dem gleichen Ziele aufspüren und verfolgen. Und nur die Erkenntnisse lassen sich lehren; das konstruktive Gefühl muß angeboren sein, wenn es sich auch durch Übung kräftigen läßt.

Desto wichtiger ist es, die allgemeinen Grundlagen der Lehre vom Leichtbau von vornherein vollständig klarzulegen.

Ein Begriff ist dort gebildet: die „Dehnungslänge (Elastizitätszahl durch Wichte)“, in der Duralumin dem Stahl unterlegen ist und daher bei Knickbeanspruchung ihn nicht ersetzen könne. Hier ist eine andere Auffassung und Bewertung möglich.

Die praktische Lösung eines Knickproblems hängt abweichend vom Zugproblem in höherem Maße von der konstruktiven Durchbildung des beanspruchten Stabes als von den besonderen Werkstoffeigenschaften ab. Die zur Übertragung der reinen Druckkraft erforderliche Querschnittfläche eines Stahlstabes kann theoretisch ein unbegrenzt großes Trägheitsmoment dadurch erhalten, daß sie in einen sehr schmalen Kreisring mit großem Halbmesser aufgeweitet wird. Der so entstehende Hohlkörper, der übrigens nicht zylindrisch gedacht werden muß, sondern etwa spindelförmig sein kann, würde bei allzu geringer Wandstärke neuen Knickgefahren seiner Wandung ausgesetzt sein; doch auch diese lassen sich durch Kräuseln der Oberfläche zurückdrängen. Die Elastizitätstheorie gestattet nicht, eine genaue obere Grenze für die mögliche Knickfestigkeit für ein Gebilde abzuleiten, dessen Querschnittflächen nur der reinen Druckkraft entsprechend bemessen sind und das daher ein Mindestmaß an Gewicht hat. Erst die konstruktive Durchführung begrenzt die Knickfestigkeit unter Umständen niedriger als die Druckfestigkeit des „Stabes“.

Beim Übergang von einem Werkstoff auf einen andern, etwa von Stahl auf Duralumin, läßt sich auch erst dann etwas über die damit verbundene Änderung der Knicksicherheit aussagen, wenn die Konstruktion oder wenigstens der Grundgedanke der Konstruktion feststeht. Die Anwendbarkeit der „Dehnungslänge“ setzt gleiche Querschnitte außer gleicher Stablänge bei beiden Werkstoffen voraus. Dann sinkt die Knickfestigkeit allerdings in stärkerem Verhältnis als das Eigengewicht. Aber diese Voraussetzung liegt nur selten vor. Auch gilt keineswegs der Schluß, daß bei gleichem Eigengewicht die frühere Knickfestigkeit nicht erreicht würde. Hatte man beim Stahl„stab“ ein bestimmtes Verhältnis der Knickfestigkeit zur Druckfestigkeit — beim Leichtbau sollte es rechnungsmäßig nicht wesentlich unter 1 sein — erreicht, so wird man dies beim Duraluminstab mindestens ebenso groß verlangen. Bei gleicher zu übertragender Druckkraft muß der Querschnitt im umgekehrten Verhältnis der Druckfestigkeiten, also etwa $117 : 47 = 2{,}5$fach vergrößert werden; sein Trägheitsmoment wächst bei geometrischer Ähnlichkeit also $2{,}5^2 = 6{,}2$fach. Anderseits ist der Elastizitätsmodul von 2 150 000 auf vielleicht 720 000 kg/cm² vermindert, die Knicksicherheit daher immerhin noch mehr als verdoppelt! Hierbei ist das Eigengewicht noch auf 90 vH vermindert. Bei gleichem Gewicht würde die Druckfestigkeit des Duraluminstabes auf das 1,1fache, die Knickfestigkeit auf das 2,6fache gegenüber den Werten des Stahlstabes gesteigert sein. War aber die Knickfestigkeit des Stahlstabes wesentlich kleiner als seine Druckfestigkeit, diese also nicht innerhalb der erlaubten Grenzen ausgenutzt, so kann bei gleicher Knicksicherheit das Stabgewicht im Verhältnis $\sqrt{2{,}6} : 1 = 1{,}61$, also auf 62 vH vermindert werden, wenn Duralumin statt Stahl verwandt wird. Also gerade bei der Knickung tritt die Bedeutung des Duralumins für den Leichtbau überragend hervor! Die aus dem Elastizitätsmodul E und der Wichte γ abgeleitete „Dehnungslänge“ E/γ ist also kaum ein Wertmaßstab. Unter der obigen Voraussetzung geometrischer Ähnlichkeit entsprechender Querschnitte können folgende Ausdrücke für die Bewertung der Werkstoffe in bezug auf Knickfestigkeit dienen:

bei gleichem Eigengewicht . . . . E/γ^2,
bei gleicher Knicksicherkeit . . . . $\sqrt{E}/\gamma$,
bei gleichem Querschnitt . . . . E/γ.

E/γ steht in Zusammenhang mit der Schallgeschwindigkeit im Metall $\sqrt{E/\varrho}$, wobei die Dichte $\varrho = \gamma/981$ cms^{-2}. Nimmt man kg als Krafteinheit, so berechnet sich die Schallgeschwindigkeit im Metall nach folgender Zahlentafel:

Werkstoff	Elastizitäts-modul kg/cm²	Dichte kgs²/981 cm⁴	Schall-geschwindigkeit m/s
Stahl	2 150 000	0,0078	5 200
Duralumin	720 000	0,0028	5 030

Hiernach ist Duralumin in der Schallgeschwindigkeit dem Stahl zwar etwas unterlegen; es mag aber dahingestellt bleiben, ob sich aus dieser Beziehung Folgerungen für den Leichtbau ziehen lassen.

Charlottenburg, den 22. Mai 1924. Melchior.

1. Als der Aufsatz „Luftfahrt und Technik“ an die Schriftleitung ging, war mir natürlich das Elektron, nicht aber der Fortschritt zum „stahlähnlichen“ Metall mit 24 km Reißlänge bekannt. Hoffentlich liegen bald Erfahrungen darüber vor, wie weit die neue Legierung neben dem Leichstoffbau den Leichtformbau gestattet, ohne den die Preise der Leichtmetalle für viele Zwecke heute leider zu hoch sind.

2. In meinem Aufsatz wurde neben der Reißlänge die „Dehnungslänge“ als Maß für die Güte eines Baustoffes aufgestellt. Inzwischen habe ich selbst auf Grund der Ähnlichkeitsmechanik[2]) noch weitere Vergleichswerte untersucht, die anderweitig veröffentlicht werden. Wie Herr Melchior richtig hervorhebt, gilt die Dehnungslänge für das Vergleichen von Knickträgern von gleichen Abmessungen, aber aus verschiedenen Baustoffen, nämlich als Maß des Verhältnisses von Knickfestigkeit zu Eigengewicht. Ferner tritt sie übrigens anstelle der Reißlänge, wenn man bei Biegungsträgern nicht den Bruch, sondern das Durchfedern, etwa unter Eigenlast, wieder für gleichen Querschnitt betrachtet. Stellt man die technische Aufgabe anders, so ergeben sich Verhältnisse der Dauerfestigkeit zur Wichte, der Elastizitätsgrenze zur Wichte usw. oder, wie in der Zuschrift, der Elastizitätszahl zum Quadrat der Wichte („bei gleichem Eigengewicht“ und „bei gleicher Knicksicherheit“); dies Verhältnis fällt natürlich zugunsten des leichteren Baustoffes aus und unterstützt damit meine Ausführungen. [Z 451] Everling.

[1]) Z. Bd. 68 (1924) S. 491.

[2]) S. M. Weber, Die Grundlagen der Ähnlichkeitsmechanik und ihre Verwertung bei Modellversuchen, mit besonderer Berücksichtigung schiffbautechnischer Anwendungen, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1918; dort findet sich in Abschnitt 50 bei einer Anwendung des Cauchyschen Modellgesetzes das von mir als „Dehnungslänge“ bezeichnete Verhältnis und in Abschnitt 28 dessen Beziehung zur Schallgeschwindigkeit. Inzwischen ist (Z. Nr. 22, S. 555) eine eingehende Betrachtung dieser Art von P. Meyer erschienen.

Schluß des Textteiles.

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Die Bedeutung der Rauchgasprüfung.

Während bei den meisten Maschinen und Betriebseinrichtungen der Wirkungsgrad bei allen Belastungen ausschließlich von der Bauart abhängt und sich zwangläufig bei verschiedenen Belastungen einstellt, ist der Wirkungsgrad des Kessels in überwiegendem Maß vom Heizer abhängig und bleibt so lange willkürlich, als nicht alle Maßnahmen getroffen werden, ihn zur Einstellung günstigster Betriebsverhältnisse zu zwingen. Die Hauptverluste des Kessels (Wärmeinhalt der Abgase, Verlust an Unverbranntem) sind abhängig von der Einstellung der Luftzufuhr. Bei Luftmangel überwiegen die Verluste durch Unverbranntes, bei Luftüberschuß verlassen die großen Luftmengen mit Abgastemperatur ungenutzt den Kessel; dazwischen liegt ein Gebiet des wirtschaftlichen Luftüberschusses, mit dem der Kessel zu betreiben ist.



Es genügt also nicht, gute und geeignete Kessel aufzustellen, sondern es ist in erster Linie dafür zu sorgen, daß der Kessel ständig, auch bei wechselnder Belastung, mit dem günstigsten Luftüberschuß betrieben wird, da sonst der Betriebswirkungsgrad hinter dem bei Paradeversuchen erreichten bedeutend zurückbleibt. Die Kosten der erforderlichen Apparatur, des Rauchgasprüfers, stehen in keinem Verhältnis zum Erfolg. In wenigen Wochen können sich Rauchgasprüfer durch die Kohlenersparnis bezahlt machen.

Die Nachkontrolle von Durchschnittswerten. Die ursprüngliche Lösung der Rauchgasprüfung, d. h. der Feststellung des CO_2-Gehaltes der Rauchgase durch unmittelbare Nachahmung der chemischen Analyse, wie sie schon früh durch einzelne Messungen mit dem Orsat-Apparat durchgeführt wurde, erfüllt nicht ihren Zweck. Diese chemischen Methoden gestatten nur die Nachkontrolle eines Durchschnittswertes. Der Heizer wird dadurch nicht gezwungen, in jedem Augenblick nach der Anzeige des Rauchgasprüfers seine Maßnahmen zu treffen und so Fehler in der Feuerführung schon im Entstehen zu verhindern. Nur die deutlich sichtbare Anzeige, die den Heizer zum Handeln zwingt, ist imstande, den Mangel zu ersetzen, daß bei den heutigen Feuerungen eine vollkommen selbsttätige Einstellung der Luftzufuhr noch nicht möglich ist. Die erste Forderung für jede Regelung ist die sofortige Einwirkung auf jede Veränderung, die durch eine periodische und Zeit beanspruchende chemische Analyse naturgemäß nicht durchgeführt werden kann. Außer der verspäteten Anzeige ist auch die Feststellung des Kohlensäuregehaltes als Durchschnitt für einen bestimmten Zeitabschnitt ein Mangel, der der chemischen Rauchgasprüfung anhaftet. Während der Luftüberschuß einmal zu groß, bald darauf zu klein sein kann, was gleichermaßen unwirtschaftlich ist, erscheint bei der Feststellung des Durchschnitts ein Mittelwert, der Verhältnisse vortäuscht, wie sie bei richtigem Luftüberschuß vorhanden wären.

Die mittelbare Rauchgasprüfung. Man ist deshalb dazu übergegangen, die Veränderung physikalischer Eigenschaften bei wechselndem CO_2-Gehalt zu einer kontinuierlichen Anzeige zu benutzen. So wurde ein Apparat gebaut, der die Veränderung der Leitfähigkeit mit dem Kohlensäuregehalt zugrunde legt, wobei aber nur allmählich ein Übergang von einem Beharrungszustand in den folgenden bei Veränderung der Rauchgaszusammensetzung eintritt. Der Apparat hat also, ähnlich wie der chemische, eine Reaktionszeit und neigt zur Mittelwertsbildung. Schon früh ist der Versuch gemacht worden, den geringen Dichteunterschied der Rauchgase gegen Luft (8 % bei 20 % CO_2) durch die bekannte Gaswage festzustellen, die für praktische Zwecke aber viel zu empfindlich ist.

Auf eine ganz neue Grundlage ist die Dichtemessung in neuester Zeit dadurch gestellt worden, daß unter Anwendung der Gesetze der Aerodynamik eine Hilfskraft in Form von motorischer Energie angewendet worden ist die gestattet, in ganz beliebigem Maße so große Meßkräfte zu schaffen, wie sie zur Herstellung eines widerstandsfähigen Instruments erforderlich sind. So wie es möglich ist, durch beliebig kleine Steuerkräfte unter Zwischenschaltung eines Servomotors große Steuerorgane zu betätigen, werden hier durch angetriebene Windflügel große Kräfte erzeugt, die der Dichte proportional sind und beliebig gesteigert werden können.

Der Ranarex-Rauchgasprüfer. Bei dem von der AEG gebauten Ranarex-Rauchgasprüfer werden durch motorisch angetriebene Windflügel sowohl das Rauchgas als auch die Vergleichsluft in Umlauf versetzt. Die beiden so geschaffenen aerodynamischen Drehfelder werden durch zwei als Meßrädchen ausgebildete Windflügel abgebremst; die dabei auftretenden Drehmomente sind der Dichte von Luft und Rauchgas proportional. Durch eine sinnreiche Kupplung der mit dem Meßrädchen verbundenen Hebel wird erreicht, daß bei jeder Stellung des Meßsystems andere Hebelarme wirksam sind. Je nach dem Verhältnis der Drehmomente, also der Dichte, wird sich demnach eine andere Gleichgewichtslage einstellen; die Drehung der unteren Meßradachse wird durch einen Zeiger auf einer großen Skala sichtbar gemacht. Die Achse des Treiberwindflügels für das Gas trägt außerdem einen Ventilator, der das Rauchgas entgegen dem Unterdruck des Kessels selbst ansaugt und im Verhältnis zu anderen Apparaten eine vielfach größere Rauchgasmenge fördert. Die geringen Gasgeschwindigkeiten, die bei der fortlaufenden Erneuerung des Gases auftreten, sind verschwindend klein gegenüber den hohen Geschwindigkeiten, mit denen das Gas durch die Windflügel in Umlauf versetzt wird. Der Apparat braucht also überhaupt keine Reaktionszeit; damit ist die Bedingung schnellster Anzeige vollkommen erfüllt. Der Apparat kann deshalb ohne Zwischenschaltung besonderer Übertragungsmittel auch auf größere Entfernungen durch eine gewöhnliche Rauchgasleitung mit der Entnahmestelle verbunden werden.

Betriebsergebnisse. Der volle Erfolg der Rauchgasprüfung konnte erst erreicht werden, nachdem der Rauchschieber jedes einzelnen Kessels nach dem zugehörigen Rauchgasprüfer eingestellt wurde (s. Bild). Bei richtiger Anwendung waren mit dem Ranarex-Rauchgasprüfer Kohlenersparnisse von 10 vH und mehr zu verzeichnen. Diese guten Ergebnisse sind nur dadurch möglich, daß der Apparat ohne wesentliche Wartung auch unter schwierigen Kesselhausverhältnissen dauernd richtig, deutlich und schnell anzeigt, so daß das Heizen nach Rauchgasanzeige und der sofortige Eingriff zur Vermeidung von Feuerungsfehlern den Heizern zur selbstverständlichen Gewohnheit wird.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Krafttechnik

Mitteilungen der AEG

Der „Reglo“-Werkzeugmaschinenantrieb.

Mit dem Wort „Reglo“ werden solche Werkzeugmaschinenantriebe der AEG bezeichnet, die im Gegensatz zu den Anbau-Antrieben alle Vorteile des direkten Motorantriebes, besonders mit Reguliermotor, ausnützen und dabei einen gefälligen Zusammenbau aufweisen, so daß eine solche Werkzeugmaschine ebenso als Ganzes wirkt wie eine Turbodynamo usw.

Dieses Ergebnis kann durch rechtzeitiges Zusammenarbeiten des Maschinenkonstrukteurs mit dem Fachmann für die elektrische Ausrüstung erreicht werden, ohne daß Zwangskonstruktionen (Spindelstockmotoren mit Hohlwellen usw.) nötig sind.

Eine Wotan-Genauigkeits-Schnelldrehbank mit Reglo-Antrieb zeigt Bild 1.

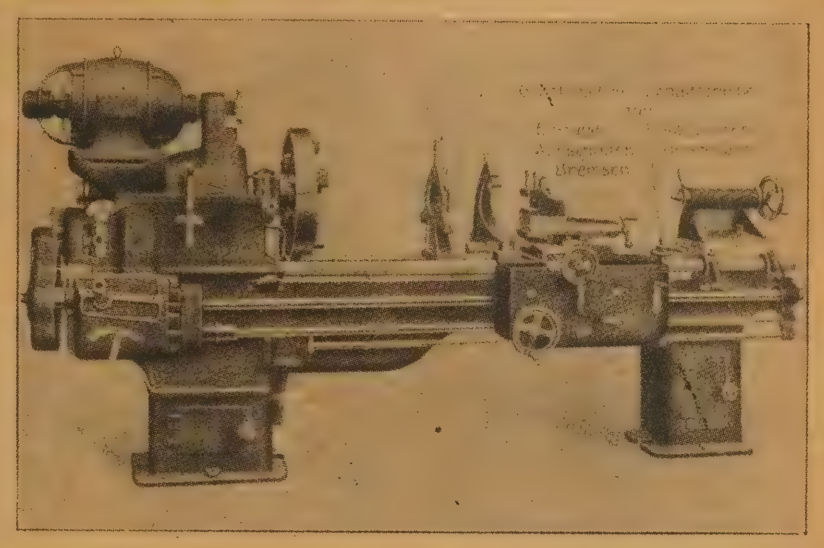


Bild 1 TWL 2969
Wotan-Genauigkeits-Schnelldrehbank mit Reglo-Antrieb.

Die Wirtschaftlichkeit des Gleichstrom-Wendereguliermotor-Antriebes gegenüber dem Antrieb mit Stufenräderkasten (Einscheibe) ist aus nachstehender Darstellung (Bild 2) ersichtlich. Demnach benötigt die Räderkastenmaschine bei gleicher Arbeit täglich rund 110 vH mehr Strom (kWh) als die Reglo-Maschine. Messungen in den AEG-Werkstätten haben sogar 140 vH Mehrverbrauch ergeben. Unter Berücksichtigung des Blindstromes beträgt der Mehrverbrauch rd. 222 bezw. 235 vH (kVAh).

Die vorstehenden Zahlen ergeben sich bei einer Betriebsweise mit durchschnittlich der Hälfte der Normalleistung an der Spindel und mit 30 vH Schnittpausen für Auf- und Abspannen, Zentrieren, Messen, Werkzeugeinstellen, Geschwindigkeits- und Vorschubwechsel. Während dieser Griffzeiten läuft der mechanische Antrieb weiter und verbraucht dabei 2,4 kWh; beim Reglo-Antrieb ist

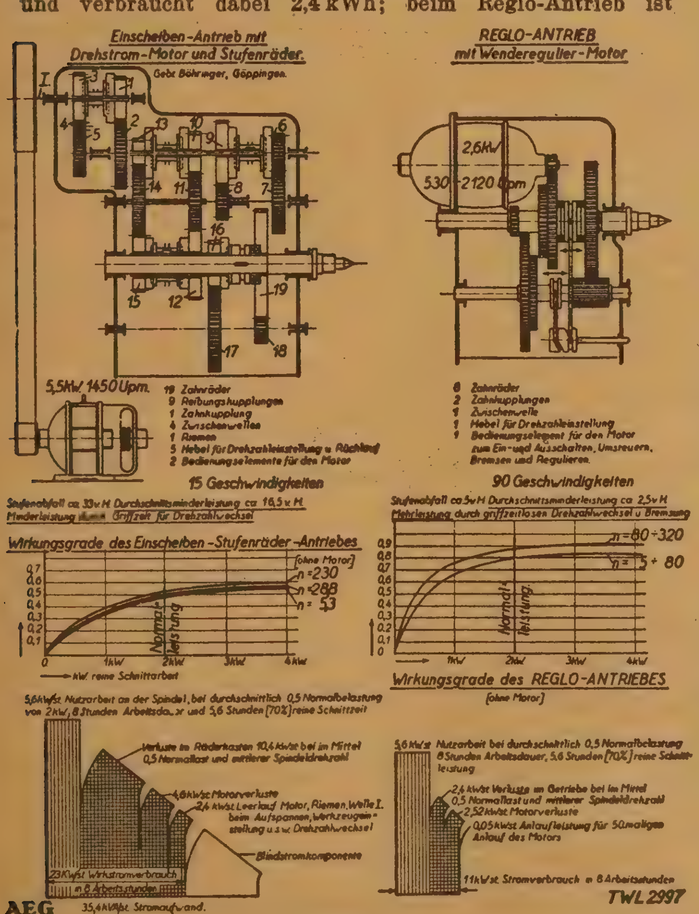


Bild 2
Drehbank-Antrieb für 2 kW Normalleistung ca. 300 mm Spitzenhöhe.

während dieser Zeit jedoch kein Stromverbrauch möglich. Die Griffzeiten selbst sind beim Reglo-Antrieb viel geringer, weil beim Abstellen eine dynamische Bremsung erfolgt und eine einfache Bedienung ohne Arbeitsunterbrechung möglich ist. Während ferner die beim Einscheibenantrieb erzielbaren 15 Geschwindigkeiten — wegen der Umständlichkeit ihrer Einstellung — nur selten richtig ausgenützt werden, können die 90 Geschwindigkeiten des Reglo-Antriebes nicht nur zur Beseitigung der Minderleistungen, sondern auch zur Erzielung außerordentlicher Mehrleistungen tatsächlich voll nutzbar gemacht werden.

Die betriebswissenschaftliche Forschung kann dem Arbeiter an der Maschine nur Mindestgeschwindigkeiten und Leistungen vorschreiben, einmal weil die Härte des Materials verschieden ist, ferner wegen der Unterschiede in der Arbeitsfähigkeit der Werkzeuge. Vor allem wird die Geschwindigkeit durch die Form des Werkstückes und des Werkzeuges sowie durch die nötige Sauberkeit und Genauigkeit der Arbeit beeinflußt.

Das Betriebsbureau muß dies alles in Form von Mindergeschwindigkeiten bzw. Minderleistungen berücksichtigen. Diese Minderleistungen vervielfältigen sich noch, wenn die vorgesehenen Mindestgeschwindigkeiten nicht eingehalten werden können, weil sie infolge der groben Abstufung der Werkzeugmaschine nicht zur Verfügung stehen oder ein häufiger Geschwindigkeitswechsel nötig wäre, um die vorherbestimmten Geschwindigkeiten auch nur grob zu erreichen.

Bei der Reglo-Werkzeugmaschine fallen für den Betriebstechniker diese Sorgen und damit die Minderleistungen fort. Natürlich muß man sich darüber klar sein, daß Höchstleistungen im praktischen Betrieb durch einseitiges Hinaufschrauben der Geschwindigkeiten nicht zu erreichen sind. Erweist sich eine solche Geschwindigkeit aus irgendwelchen Gründen als zu hoch, so wird der Betrieb die Geschwindigkeit ein für alle Male auf ein sicheres Maß hinuntersetzen. Man kann daher nur dann Höchstleistungen erreichen, wenn man eine Regulierbarkeit hat, die es erlaubt, wenn nötig, auch sofort zurückzugehen und damit die beste Geschwindigkeit einzukreisen. Nur auf solche tastende Weise kann man sich den augenblicklichen Grenzwerten nähern und diese durch Verbesserung der Werkzeuge (Schnellstahl, Hartmetall) und sonstige Mittel weiter stecken.

Der Reglo-Antrieb ermöglicht also, die Arbeit mit weniger Maschinen, weniger Arbeitszeit, weniger Platz, weniger Anschaffungs- und Gebäudekosten, weniger Instandhaltungs- und bedeutend weniger Stromkosten zu leisten, so daß die etwa nötige Umformung des Drehstromes — besonders mit den heutigen Gleichrichtern oder Einankerumformern — keine Rolle spielt.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Geschmiedete SHG-Umkehrenden für Ueberhitzer

L H L-Mitteilungen

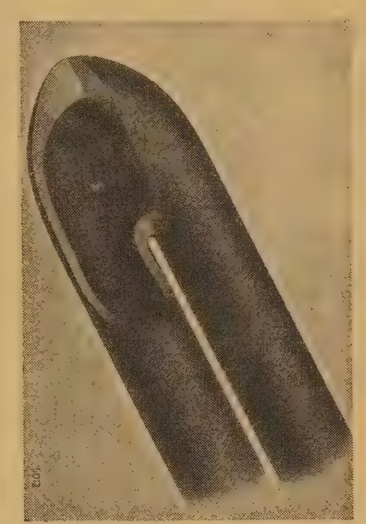
Bei den Umkehrstellen kommt es vor allen Dingen darauf an, daß die Wandstärke an der Spitze möglichst kräftig gehalten wird, da gerade sie der unmittelbaren Einwirkung der heißen Feuergase am meisten ausgesetzt ist. Am vorteilhaftesten ist es außerdem, wenn die Umkehrenden unmittelbar aus dem Überhitzerrohr geschmiedet werden, so daß Element und Umkehrstelle ein Ganzes bilden und jede autogene Schweißung vermieden wird.

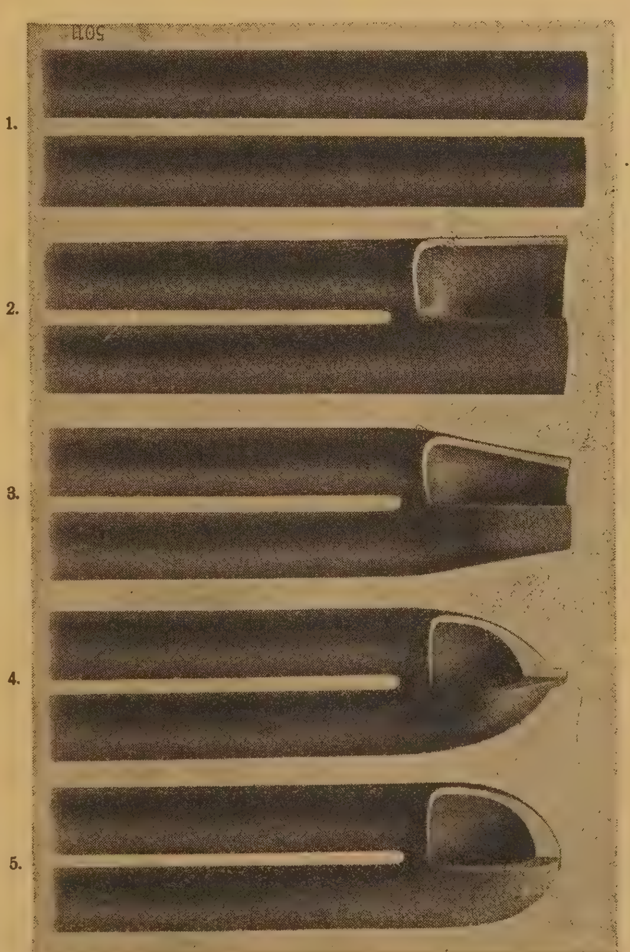


All diese Vorteile, durch welche die Haltbarkeit der Umkehrenden eine sehr beträchtliche Verlängerung erfährt, sind bis jetzt nur in der S.H.G.-Umkehrstelle vereinigt. Diese zeichnet sich ferner dadurch rühmlich aus, daß zu ihrer Herstellung keine gelernten Arbeiter benötigt werden.

Die Fertigung ist überaus wirtschaftlich, weil sämtliche Arbeiten maschinell ausgeführt werden und die Handarbeit vollkommen ausgeschaltet ist. Daß aber bei rein maschineller Fertigung die täglich erreichbare Stückzahl diejenige bei Herstellung von Hand um ein Mehrfaches übertrifft, versteht sich von selbst. Die Lebensdauer der S.H.G.-Umkehrstelle wird ferner dadurch günstig beeinflußt, daß die ganze Rohrkappe nebst Element aus einem und demselben Material hergestellt wird, so daß irgendwelche Spannungen, hervorgerufen durch unterschiedliche Zusammensetzung der einzelnen Teile nicht auftreten können.

Die Herstellung der S.H.G.-Umkehrstellen, die in verschiedenen Größen für Lokomotiven und für Schiffs- usw. -Kessel ausgeführt werden, ist sehr einfach. Zunächst müssen die beiden aus bestgeeignetem Material bestehenden Überhitzerrohre, welche mit einem Umkehrende versehen werden sollen, (1) durch zwei Klammern, die sog. Abstandshalter, zusammengefaßt werden, und zwar so, daß der Abstand zwischen ihnen dem des fertigen Überhitzerelementes genau entspricht. Sodann wird dasjenige Ende des so erhaltenen Rohrpaares, das in eine Umkehrstelle umgewandelt werden soll, in einem eigens zu diesem Zwecke konstruierten Ofen mit Ölfeuerung auf Schweißhitze gebracht. Ist dies geschehen, so werden die beiden Enden in einer Schmiedemaschine durch einen mit stumpfer Schlitzkante versehenen Schlitzdorn geschlitzt, in die Form eines Hosenrohres gebracht und durch einen mit dem Dorn aus einem Stück bestehenden Stempel zusammengeschweißt. (2.) Die in die Maschine eingesetzte Matritze ist so profiliert, daß ein Ausweichen des Materials während des Pressens nicht möglich ist. Im nächsten Arbeitsgange wird das Hosenrohr unter einem schnellschlagenden Hammer vorgerundet, (3.) um sodann der Einziehungsmaschine zugeführt werden. Diese besteht in der Hauptsache aus einem sehr schnell arbeitenden umlaufenden Hammergesenkpaar mit geringer Hubhöhe. Da die Gesenke rotieren, erhält die Kappe an der Spitze eine runde Form. Das beim Schließen des Umkehrendes vorhandene überschüssige Material wird in eine Spitze ausgezogen. (4.)





Die letzte Maschine, eine Flachdruckpresse, hat die Aufgabe, die Umkehrstelle vollständig fertig zumachen. Zu diesem Zwecke wird das Werkstück zunächst flachgedrückt, worauf die Spitze abgeschnitten und die Schnittfläche durch einen Lufthammer geglättet wird. (5.) Daß zwischen je zwei Arbeitsvorgängen das Arbeitsstück von neuem erwärmt werden muß, versteht sich von selbst.

Es ist klar, daß bei dieser Herstellungsweise der S.H.G.-Umkehrstellen an der Spitze eine Wandstärke von der etwa 3 bis 4fachen des Rohres erreicht wird und so für eine lange Lebensdauer jede Gewähr geboten ist.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Elektrische Drehzahlverstellvorrichtungen DRGM.

Ein wichtiges Hilfsmittel für die Regulierung von Kraftmaschinen, Dampfmaschinen, Wasserturbinen, Gas- und Dieselmotoren ist die elektrische Drehzahlverstellvorrichtung. Sie ermöglicht eine Fernbeeinflussung der Drehzahl von beliebiger Stelle, bei elektrischen Kraftwerken von der Schalttafel aus unter gleichzeitiger Beobachtung der Schalttafelinstrumente. Das Parallelschalten von Wechselstromdynamos, die Lastübernahme von einer Maschine auf die andere wird dadurch wesentlich erleichtert.

Die Vorrichtung der AEG besteht aus einem vertikalen Flanschmotor, einem mit diesem direkt gekuppelten Schneckenvorgelege, einer selbsttätigen Endschaltung (Bild 1 und 2) und einem Umschalter.

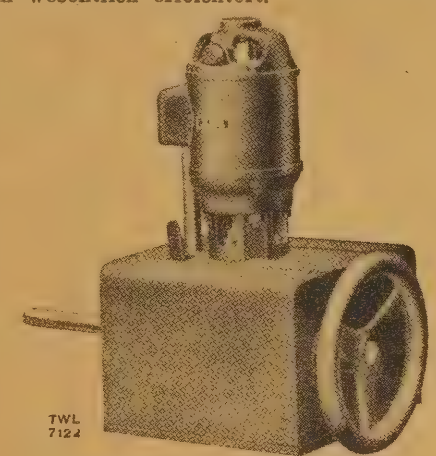


Bild 1. Drehzahlverstellvorrichtung. Ansicht.

Bild 2. Drehzahlverstellvorrichtung mit abgenommenen Blechhauben. Blick auf die Endschalter.

Der Motor sitzt mit seinem Flansch auf einem gußeisernen Getrieberahmen und treibt ein Schneckenvorgelege, das die Umdrehungszahl des Motors auf ca. 35 bis 65 Umdr. i. d. Min. herabmindert. Das in den Abbildungen 1 und 2 sichtbare freie Wellenende der Vorgelegewelle wird mit dem zu verstellenden Teil der Reguliervorrichtung gekuppelt oder durch Zahnräder oder Kettenräder mit Kette verbunden.

Mit dem Schneckenvorgelege ist eine selbsttätige Endausschaltung verbunden, die den Motor in beiden Drehrichtungen abschaltet, sobald sich das zu verstellende Reguiatorgewicht, die mehr oder weniger zu spannende Regulatorfeder oder dergleichen in der Grenzstellung befinden. Die Anzahl der Umdrehungen der Vorgelegewelle zwischen den beiden Endstellungen läßt sich am Verwendungsort genau einstellen.

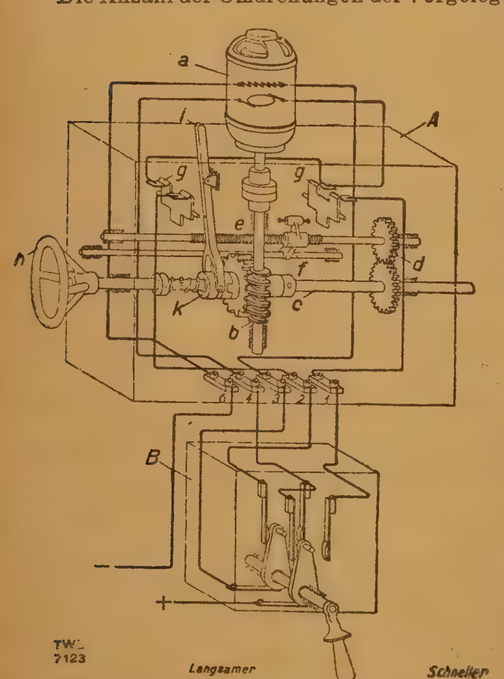


Bild 3. Schaltbild für Gleichstrom.
A Drehzahlverstellvorrichtung. B Umschalter, a Motor, b Schneckengetriebe, c Schneckenrad-Handradwelle, d Getriebe zur Schaltspindel, e Schaltspindel, f Wandermutter, gg Endausschalter, h Handrad, i Kupplungshebel, k Kupplg.

Die Schaltung ist derart, daß der Motor zwischen den Endschaltern beliebig nach beiden Seiten gesteuert werden kann, daß er aber nach seinem Stillsetzen durch einen der Endausschalter nur im entgegengesetzten Drehsinn wie vorher wieder einzuschalten ist. Bild 3 zeigt beispielsweise das Schaltbild für Gleichstrom.

Damit die Vorrichtung unabhängig vom elektrischen Antrieb auch von Hand betätigt werden kann, ist auf der Vorgelegewelle dem freien Wellenende gegenüber ein Handrad angebracht. Ein Umlegen eines kleinen aus der Oberseite des Getrieberahmens herausragenden Hebels bewirkt dabei vorher ein Ausrücken des selbsthemmenden Schneckenvorgeleges. Auf beiden Seiten des Rahmens sind abnehmbare Blechhauben angeschraubt, nach deren Abnahme alle Getriebeteile frei liegen.

Zum Umschalten dient ein zweipoliger Betätigungsschalter entsprechend Bild 4, der in jeder Schalttafel bequem eingebaut werden kann. Durch einen Druck auf den Betätigungsgriff nach links oder rechts wird der Motor in dem einen oder anderen Drehsinn eingeschaltet. Schilder „Schneller" und „Langsamer" bezeichnen die hervorgerufene Änderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kraftmaschine. Wird der Griff freigelassen, so geht der Schalter selbsttätig in seine Nullstellung zurück.

Der Zusammenbau der Drehzahlverstellvorrichtung mit einem Regulator wird zweckmäßig stets durch den Erbauer der Kraftmaschine vorgenommen. Er erfolgt am besten in dessen Werkstatt, wenn die in Frage kommenden Regulatorteile in inniger Verbindung mit der elektrischen Drehzahlverstellvorrichtung stehen, oder auch erst bei der Montage der Kraftmaschine, zumal wenn die Art des Antriebes, wie z. B. durch Kette, ein genaueres Zusammenpassen nicht erforderlich macht. Ein Beispiel für einen gedrungenen Zusammenbau zeigt Bild 5. Zur Befestigung der Drehzahlverstellvorrichtung sind nur drei Schrauben von ⅜" Durchmesser erforderlich, für die in der Grundplatte des Getrieberahmens entsprechende Löcher vorgesehen sind. Da die ganze Vorrichtung wenig Raum und insbesondere eine geringe Grundfläche beansprucht, so ist die Befestigung auf einem Konsol, einem kleinen Sockel oder dergleichen bei den Kraftmaschinen verschiedenster Bauart und allen Regulatorsystemen leicht zu bewerkstelligen.





Bild 4. Betätigungsschalter.

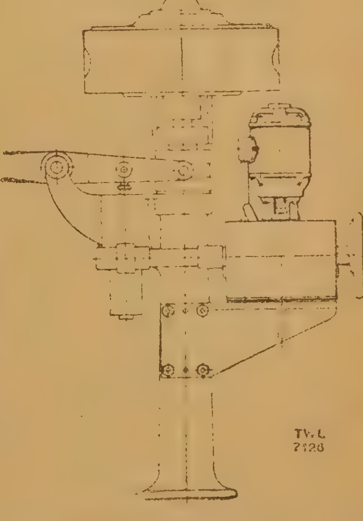


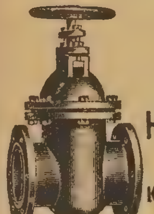
Bild 5. Direkter Zusammenbau bei einem Muffenregler.

Die AEG baut die elektrischen Drehzahlverstellvorrichtungen für Gleichstrom und Drehstrom in mehreren Typen, deren Außenmaße bis auf die Gesamthöhe, die sich nach der Wahl des Antriebsmotors richtet, völlig gleich sind.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Abschlammventile
J. G. Merckens, A.-G.,
Apparateb., Armaturenfabr.,
Aachen-B., Bendstr. 2—8.

Armaturen
in Eisen mit Metalldichtung

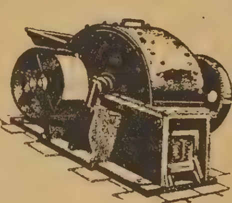


Schieber,
Ventile, Hähne

Eisenwerk
Heinrich Schilling
Eisengießerei
und Armaturenfabrik
Kracks bei Bielefeld

Aufzüge
sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge
Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

Brecher
„Zick-Zack"



Hammermühlen.
Wichtige Neuerungen.
Friedr. Haas
Lennep (Rhld.)

Bürsten
für die gesamte Industrie
zu Maschinen- oder
Reinigungszwecken nach Angabe
und Zeichnung
Joseph Pötz, Neuwied.

Kreuser-
Dampfhämmer
D. R. P.
mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.
ADOLF KREUSER
G. m. b. H., Hamm
(Westf.)
Werkstattausführung: Wagner & Co.,
Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H.,
Dortmund.

Dampfmesser
mit Zählwerk,
kombiniertem Ventil u.
Druckberücksichtigung.
Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstraße 12a.

Dampfkesselarmaturen
baut
Carl Vogel, Chemnitz

Sicherheits-
Dampfkessel-Schlamm-Ablaß-Ventile
System „Bühring" D.R.G.M.
Ventilkegel während des
Betriebes nachschleifbar.
Aus Vorrat lieferbar.
Bühring Akt.-Ges.
Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik / Kesselschmiede
Apparatebau

Dampfmesser
Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser
anzeigend, registrierend
zählend,
Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

Dampfmesser
Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke
Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26.

Dampfmesser
mit automatischer
Druckberücksichtigung
D. R. P.
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für
Kesselhäuser u. dergl.
OTTO WAGNER
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz



Diamantwerkzeuge
für alle Zwecke
Diamantwerkzeugfabrik
„Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o,
Belle Alliance-Straße 82

Dieselmotore
u. alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.
Hans G. NISSEN Berlin SW 68

Dorneintreibe-Pressen



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität
Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9a

Elektrische
Handbohrmaschinen
Tischbohrmaschinen
Schleifmaschinen
Arthur Senftleben
Berlin N 113

Elektro-Flaschenzüge
Seilzüge für größere Hubhöhen, „Schlangenzüge" für kleineren Hub oder genaueste Arbeiten.
R. Stahl A.-G.
Aufzugfabrik
Stuttgart

Entstaubungsanlagen



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.

Federn
Zug- und Druckfedern
in allen Stärken u. für
alle technische Zwecke
C. M. Pieper & Co.
Drahtweberei und Federnfabrik
Gegründet 1825
Hohenlimburg

Filze
für technische Zwecke
Carl Günther & Co., Filzwarenfabrik,
Berlin NO 43, Neue Königstr. 71

Filze
für alle technischen Zwecke·
spez. Schleif- und Polierfilze·
Dichtungsfilze, Unterlagfilze·
Filzformstücken jeder Art·
STEINHÄUSER & KOPP
Filzfabrik
OFFENBACH AM MAIN

Flaschenzüge
C. F Martin, G. m. b. H.,
Hannover-Linden 47.

Fräser
aller Art
Genauigkeits-
Erzeugnisse
Busse, Kreische & Co.,
Elberfeld-J.

Gefei-Lichtbogen-Schweißer
am billigsten
in Anschaffung und Betrieb
GEFEI Gesellschaft
für elektrotechn. Industrie m. b. H.
Berlin SO 36, Maybach-Ufer 48—51

Gesteinbohrmaschinen
elektrische.
Bohrhämmer, Stoßbohrmasch.,
Drehbohrmasch. lief. seit 15 Jh.
Maschinenfabrik Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde-W, Steglitzer Str. 21 d

Greifer D.R.P.



Maschinenfabrik Carl Laudi
Einbeck (Hannover)

Hebezeuge
C. F. Martin, G. m. b. H.,
Hannover-Linden 47.

Hobelmaschinen
kräftige Bauart,
große Durchzugskraft,
neuzeitliche Ausführung
Reichle & Knödler, Heilbronn a. N.
Werkzeugmaschinenfabrik,

Isoliermaterialien
für Wärme- und Kälteschutz
insbesondere:
Kieselguhr-Wärmeschutzmassen
für alle Dampftemperaturen
Korksteinplatten und -Schalen
gebrannte Kieselguhrsteine, -Platten
und -Schalen Marke AHA
Isolierschnüre
A. Haacke & Co.
Celle (Provinz Hannover)

Kolben
Gebr. Schmeck & Co., G. m. b. H.,
Eiserfeld a. d. Sieg

Kolbenringe
Metallpackungen
Gebr. Schmeck & Co., G. m. b. H.,
Eiserfeld a. d. Sieg

Kondenswasserableiter
„Okuli"
mit Schauglas D. R. P.



Bühring-Kondenswasser-
Rückleitungs-Anlagen
Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik - Kesselschmiede - Apparatebau

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Grundsätze der Rauchgasprüfung.

Zweck der Betriebsüberwachung. Die Einsicht, daß es nicht genügt, wirtschaftliche Betriebseinrichtungen zu bauen, sondern daß es mindestens ebenso wichtig ist, dafür zu sorgen, daß diese Einrichtungen auch wirtschaftlich betrieben werden, hat im Laufe der letzten Jahre zunächst zu der wenig systematischen Gewohnheit geführt, eine große Zahl anzeigender und schreibender Geräte im Betrieb einzubauen. Mit der Sammlung und Auswertung dieser Meßergebnisse durch die Wärmestellen der Betriebe kann man im besten Fall erreichen, daß dem Bedienungspersonal allgemeine Richtlinien für die Betriebsführung gegeben werden, und es läßt sich nachträglich prüfen, inwiefern diese Richtlinien befolgt werden. Von wesentlich höherem Wert sind aber Messungen, die dem Bedienungspersonal in jedem Augenblick vorschreiben, welche Maßnahmen zu ergreifen sind. Bei der Bedienung von Dampfkesseln beschränkt sich die dauernde Überwachung durch den Heizer auf 2 Tätigkeiten, nämlich die Anpassung an die Belastung durch Regelung der Brennstoffzufuhr, deren Wirkung durch den Dampfdruck erkennbar wird, und die Regelung der Luftzufuhr durch den Rauchgasschieber, worüber der Kohlensäuregehalt der Rauchgase Aufschluß gibt. Manometer und Rauchgasprüfer sind deshalb als unmittelbare Bedienungsmeßgeräte dem Heizer ständig vor Augen zu halten, während alle darüber hinausgehenden Messungen, die nicht unmittelbar vom Heizer benutzt werden, also die Überwachungsmeßgeräte, abseits und in kleiner Ausführung anzuwenden sind, um den Heizer nicht zu verwirren.

Feinstellung der Rauchgasschieber. Als Folge der Verwechselung von Überwachungs- und Bedienungsmessungen ist anzusehen, daß man sich auch bei Einführung der Rauchgasprüfung viel zu wenig bemüht hat, die Methoden der Luftregelung zu verbessern. Aus mangelnder Erkenntnis der Wichtigkeit einer dauernden Luftregelung gibt es Kesselhäuser, bei denen die Rauchgasschieber nur ruckweise mit der Brechstange bewegt werden können. In solchen, aber auch in weniger krassen Fällen kommt man dann bei Einführung der Rauchgasprüfung zu dem falschen Ergebnis, daß das Heizen nach einem Rauchgasprüfer keine Vorteile bringt, weil der Heizer kein Mittel in der Hand hat, der Anzeige des Instrumentes mit genügender Genauigkeit Folge zu leisten. Die heutigen Antriebseinrichtungen des Rauchgasschiebers sind aus der Zeit übernommen, in der man die Wichtigkeit der Luftregelung nicht hinreichend eingesehen hat. Der Antrieb des Rauchgasschiebers kann aber mit Leichtigkeit so verändert werden, daß eine Feinstellung desselben möglich wird.

Die Anzeige des Rauchgasprüfers. Nachdem die Vorbedingungen geschaffen sind, um eine genaue Einstellung der Luftzufuhr durch den Heizer zu ermöglichen, ist der Rauchgasprüfer so auszubilden, daß er an weithin sichtbarer Skala den augenblicklichen Luftüberschuß durch den Kohlensäuregehalt mit einer solchen Schnelligkeit anzeigt, daß Feuerungsfehler durch den Heizer schon im Entstehen verhindert werden. Außerdem muß vermieden werden, daß der Rauchgasprüfer Durchschnittswerte über einen gewissen Zeitabschnitt anzeigt, da gerade die Momentanwerte den besten Anhaltspunkt für die zu treffenden Maßnahmen geben. Die mit chemischer Analyse arbeitenden Rauchgasprüfer neigen zu Mittelwertsbildung und Anzeigeverzögerung. Unter den Apparaten, die durch Verwendung anderer Meßmethoden diesen Mangel vermeiden, zeichnet sich besonders der von der AEG gebaute Ranarex-Rauchgasprüfer durch schnelle Anzeige von Momentanwerten aus. Versuche, die in dieser Richtung in der Technischen Hochschule Charlottenburg (s. Bild) durchgeführt wurden, zeigen die Anzeigeverzögerung und die Bildung von Durchschnittswerten eines chemischen Rauchgasprüfers mit Absorption gegenüber dem Ranarex-Apparat.



Vergleich der Anzeigen des Ranarex und eines chemischen Rauchgasprüfers zeigt Verzögerung und Verwischen der Momentanwerte beim chemischen Instrument.

Bedeutung der Registrierung. Aus der falschen Auffassung, daß Betriebsmessungen lediglich zur Nachkontrolle dienen, geht auch das Bestreben hervor, die Schreibvorrichtungen der Rauchgasprüfer im Betriebsbüro zu zentralisieren. Derartige Einrichtungen mögen wohl für die Nachkontrolle bequemer sein als die Anordnung einer für den Heizer sichtbaren Registriervorrichtung an jedem Kessel. Abgesehen von den wenigen Fällen aber, in denen tatsächlich von einer zentralen Kommandostelle aus die Anordnungen für die Feuerführung getroffen werden, nimmt man dem Heizer mit der Schreibvorrichtung ein Gerät, das er dringend braucht, um seine Maßnahmen zu treffen. Die wechselnde Beschaffenheit der Brennstoffe verlangt auch bei geeigneten Rosten eine dauernde Regelung jedes einzelnen Kessels nach seinem eigenen Rauchgasprüfer. Je weiter die Vervollkommnung der Feuerungen fortschreitet, um so mehr Kessel hat der einzelne Heizer zu bedienen. Er ist also nicht in der Lage, sich dauernd von den Veränderungen der Rauchgaszusammensetzung jedes einzelnen Kessels Rechenschaft zu geben, so daß die Anzeige allein ihm nicht mehr genügt, um seine Maßnahmen zu treffen, sondern er muß auch die Möglichkeit haben, die Veränderungen der Rauchgaszusammensetzung jederzeit zu erkennen. Die Registriervorrichtung ist also ebenso wie das Anzeigeinstrument ein Bedienungsmeßgerät, das an jeden einzelnen Kessel gehört und deshalb konstruktiv den schwierigen Bedingungen des Kesselhausbetriebes angepaßt werden muß. Beim Ranarex-Rauchgasprüfer ist die Registriereinrichtung mit dem Anzeigeinstrument zusammengebaut. Die Anzeigewerte werden durch eine Nadel gestochen, um Schreibfedern mit Farbfüllung zu vermeiden, und der Antrieb geschieht statt durch ein empfindliches Uhrwerk durch den gleichen Motor, der das Meßsystem antreibt. Bei dieser Vereinigung des Schreibers mit dem Anzeigeinstrument sind die Bedingungen erfüllt, um ein für den Heizer brauchbares Meßgerät zu schaffen. Soweit sich der Betriebsleiter über den Zustand der Feuerungen vom Betriebsbüro aus unterrichten will, genügt eine Anzeigevorrichtung, die umschaltbar mit den verschiedenen Rauchgasprüfern verbunden werden kann.

Wenn auf diese Weise dem Heizer ein einfaches Instrument in die Hand gegeben wird, nach dem er seine Maßnahmen treffen kann, genau so wie er nach dem Manometer sich der Belastung anpaßt, so wird in Verbindung mit einem geeigneten Prämiensystem für Einhaltung des Kohlensäuregehaltes erreicht, daß die durch Rauchgasprüfung bezweckte wirtschaftlichste Bedienung der Kessel durchgeführt wird. Es ist Aufgabe der Betriebsführung, auf diesem Wege den technischen Mangel zu überwinden, daß bei den heutigen Feuerungen eine automatische Regelung der Luftzufuhr nach der Rauchgaszusammensetzung noch nicht möglich ist.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Linke-Hofmann-Lauchhammer-Mitteilungen

Neuere Abraumlokomotiven.

Die heutige Steinkohlenknappheit zwingt viele Betriebe zur Verfeuerung von minderwertigen Brennstoffen wie Braunkohle, Holz und Torf. Selbst Industrie-, Bau- und namentlich Abraumlokomotiven werden größtenteils damit beschickt. In erster Linie ist es die der Steinkohle durch ihren verhältnismäßig hohen Heizwert wohl am nächsten stehende brikettierte Braunkohle, die für derartige Lokomotiven hauptsächlich in Frage kommt. Dieses ist um so erklärlicher, als Deutschland noch über viele, teils unerschlossene Braunkohlenfelder verfügt. Durch die Ausdehnung des Abbaus werden aber zunehmende Anforderungen an die Abraumbetriebe auf den Braunkohlengruben gestellt, die gleichzeitig die allmähliche Beschaffung geeigneterer und leistungsfähigerer Lokomotiven erforderlich machen. Da in diesen Betrieben Steinkohle naturgemäß keine Verwendung findet, kommt zur Befeuerung der Lokomotiven ausschließlich brikettierte Braunkohle in Betracht.

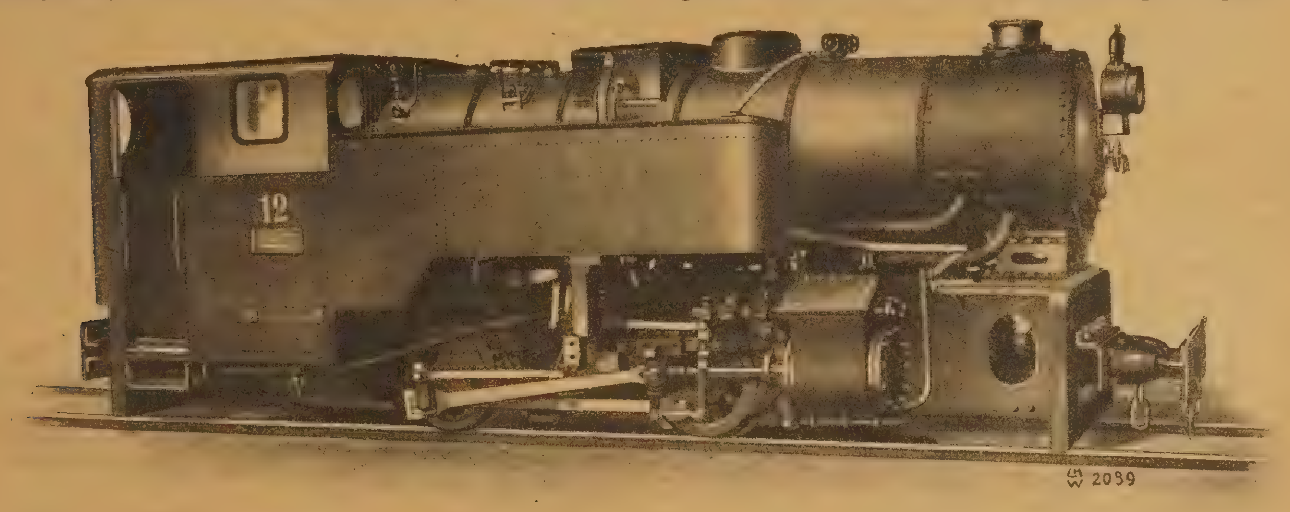
Diese Lokomotiven, die für den Baggerbetrieb auf Braunkohlengruben, beim Kanal- und Eisenbahnbau, wie überhaupt für alle auf Braunkohlenbriketts angewiesenen Abraumbetriebe bestimmt sind, müßten aus Zweckmäßigkeitsgründen der Eigenart dieser Betriebe in jeder Hinsicht angepaßt sein. Leider trifft dies bis heute nur in vereinzelten Fällen zu. Meist wird man die Beobachtung machen, daß die für den allgemeinen Förderbetrieb üblichen Baulokomotiven zur Anwendung kommen, die für die niedrige Durchfahrtsöffnung der Bagger zu hoch gebaut sind. Da das hierbei bedingte Verlegen von Gleisen zur Umgehung des Baggers nicht immer mit den Platzverhältnissen in Einklang zu bringen ist, so wird die Bewegungsfreiheit dieser Lokomotiven oft unliebsam beschränkt. Der weitaus größte Teil dieser Lokomotiven ist noch dazu für die Verfeuerung von Steinkohlen eingerichtet, so daß es auf der Hand liegt, daß bei der Verheizung brikettierter Braunkohlen eine begreifliche Unwirtschaftlichkeit dieser Maschinen in Erscheinung tritt. Die bereits für letztgenannte Brennstoffart eingerichteten Lokomotiven sind aber oft ebenso wenig dem Baggerbetriebe angepaßt. Es ist daher zu begrüßen, daß neuerdings mehrere besonders zweckmäßige, niedrig gebaute und doch äußerst leistungsfähige Bauarten auf dem Markte erschienen sind, die zunächst normalen Baulokomotiven gegenüber den wesentlichen Vorteil haben, daß sie durch die torförmige Öffnung der Bagger hindurchfahren können. Außerdem haben diese Abraumlokomotiven grundsätzlich eine der Verfeuerung von brikettierter Braunkohle Rechnung tragende Ausbildung erfahren, worin das Wesentliche dieser Typen — das als die Lösung einer durch die Steinkohlenknappheit notwendigen Aufgabe betrachtet werden kann — liegt. Die Bauart dieser Lokomotiven lehnt sich, wie auch aus nebenstehender Abbildung ersichtlich ist, im Prinzip an die allgemein übliche Tenderlokomotiv-Ausführung an, kennzeichnet sich jedoch durch ihre typische Gestaltung.

Der Kessel dieser abgebildeten, ab Lager lieferbaren Lokomotive hat die gewöhnliche Bauart, mit kupferner Feuerbüchse.

Da bei Braunkohlenfeuerung sich reichliche Rückstände bilden, mußten Rauchkammer und Aschekasten so geräumig als möglich gestaltet werden. Letzteres bereitete bei der tiefen Kessellage (1700 mm von Schienenoberkante bis Kesselmitte) einige Schwierigkeiten, die sich jedoch überwinden ließen.

Der Schornstein wurde in Anbetracht der geringen Lokomotivhöhe äußerst niedrig gehalten, dafür aber nach unten, in die Rauchkammer hinein, verlängert, um einer Beeinträchtigung des Luftzuges vorzubeugen.

Zur Verhinderung des lebhaften Funkenauswurfes wurde ein besonderer aus gelochten, wagerecht in der Rauchkammer angeordneten Blechen bestehender Funkenfänger vorgesehen.



225 PS-Abraumlokomotive für Braunkohlenbrikettfeuerung.

Spurweite	900 mm	Rostfläche	1,4 m²	Zugkraft (0,6 p)	5200 kg	Länge der Lokomotive ohne Puffer	6480 mm
Zylinderdurchmesser	365 mm	Heizfläche	60,4 m²	Zugkraft (0,75 p)	6500 kg	Breite der Lokomotive	2300 mm
Kolbenhub	350 mm	Wasservorrat	2500 l	Zugkraft (0,85 p)	7350 kg	Höhe der Lokomotive	2450 mm
Raddurchmesser	700 mm	Braunkohlenbrikett-Vorrat	1200 kg	Geschwindigkeit bei obiger Leistung	12 km/h	Leistung	225 PS
Radstand	1800 mm	Leergewicht	20,5 t	Kleinste Kurve	40 m		
Dampfüberdruck	13 at	Dienstgewicht	25,9 t				

Trotz der geringen Lokomotivhöhe ermöglichte es sich, dem Führerhause eine lichte Höhe von etwa 1900 mm zu geben.

Als die ersten dieser Abraumlokomotiven dem Betriebe übergeben wurden, sah man mit begreiflicher Spannung der praktischen Bewährung dieser Sondertypen entgegen. Als dann aber von den einzelnen Abraumbetrieben bald zuversichtlich klingende Äußerungen eintrafen, unternahm man auf Grund derselben einige Versuchsfahrten, die günstige Ergebnisse zeitigten. Es wurde festgestellt, daß die errechneten Schlepplastenwerte noch um ein beträchtliches zu überschreiten sind, was zweifellos in erster Linie auf die der Brennstoffart entsprechende Ausbildung der Lokomotiven zurückzuführen sein dürfte.

Der rauhe Betrieb erforderte eine äußerst kräftige Durchbildung aller stark beanspruchten Teile, wie überhaupt der Lokomotive im allgemeinen. Dies war mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, da hierbei leicht die Lokomotivgewichte überschritten werden konnten.

Diese neueren Abraumlokomotiven, die Anfang 1920 als die ersten ihrer Art in den Breslauer Werken der Linke-Hofmann-Lauchhammer A. G. gebaut wurden, stellen somit durch die vorbildliche Verquickung von Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Stabilität das Vollkommenste dar, was bisher auf diesem Gebiete erreicht wurde. Eine dieser serienweise hergestellten, sofort lieferbaren Abraumlokomotiven mit einer Leistung von 225 PS ist im LHL-Pavillon der Leipziger Messe ausgestellt. Man verlange unverbindlich Prospekte.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Ein neuzeitliches Kraftwerk in der Textilindustrie.

Die ungünstigen wirtschaftlichen Verhältnisse der letzten Jahre haben bewirkt, daß neuerdings an alle der Energie- oder Wärmeerzeugung dienenden Werke sowohl hinsichtlich der Anlage- wie der Betriebskosten erhöhte Anforderungen gestellt werden. Während bei den der öffentlichen Stromversorgung dienenden Elektrizitätswerken durch zweckmäßige Ausgestaltung aller Einzelheiten und insbesondere durch ihre geschickte Vereinigung zu einem organischen

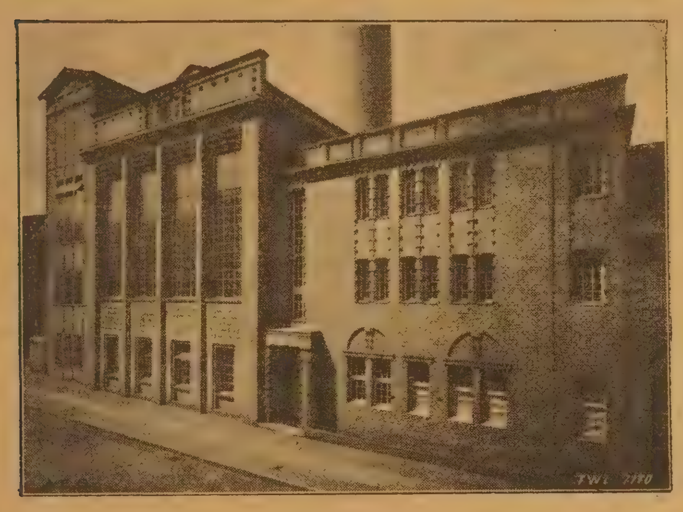


Bild 1. Straßenfront des Heizkraftwerkes einer Textilfabrik in Forst. Erbaut: März 1922 bis Januar 1923

Ganzen vielfach bereits bemerkenswerte Erfolge erzielt werden konnten, haben diese Gesichtspunkte bisher bei privaten Kraftwerken nur in beschränktem Maß Eingang finden können.

Eines der wenigen Industriewerke, bei denen auf eingehenden wissenschaftlichen Forschungen und zahlreichen Betriebsbeobachtungen beruhende neuzeitliche Erfahrungen in weitestgehendem Maße Berücksichtigung gefunden haben, und das infolge geringer Bau- und Betriebskosten besonders günstig dasteht, ist das Heizkraftwerk einer Textilfabrik, das nach den Plänen der AEG entworfen und unter deren Leitung im Jahre 1922 gebaut wurde (Bild 1).

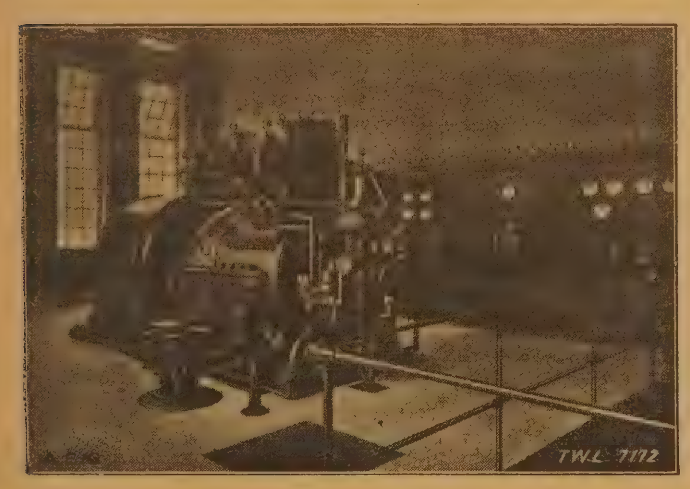


Bild 2. 450 kW-Turboanzapfaggregat u. Bedienungsschalttafel.

Das in der Stadt Forst liegende Werk hat die Aufgabe, die dem gleichen Konzern angehörenden, in rd. 230 bzw. 330 m Entfernung liegenden beiden Fabrikgebäude mit dem für die verschiedenen Koch- und Heizzwecke erforderlichen Heizdampf zu versorgen und gleichzeitig auch den zur Beleuchtung und zum Antrieb der zahlreichen Werkmotore erforderlichen elektrischen Strom zu liefern. Besondere Untersuchungen ergaben, daß für den ersten Ausbau rd. 450 kW elektrische Energie und maximal rd. 4000 kg/st. Heizdampf benötigt werden, für welche bei der Lage der einzelnen Gebäude zu einander die Erfordernisse des Textilbetriebes einen Druck von 3 atü als zweckmäßig erscheinen ließen. Obwohl dieser wesentlich unter dem sonst bei derartigen Werken üblichen Heizdampfdruck von 5 bis 6 atü liegt, haben die Erfahrungen bereits gezeigt, daß sich bei entsprechender Ausgestaltung der Pressen usw. mit ihm eine besonders günstige Wirtschaftlichkeit ergibt, ohne daß die Güte des Appreturprozesses eine Beeinträchtigung erfährt. Aufgestellt wurde eine Anzapfturbine von 450 kW Leistung bei 3000 Umdr./min. (Bild 2), die für eine größte Dampfzufuhr von 5350 kg/st gebaut ist.

Die Dampferzeugung erfolgt in einem Sektionswasserrohrkessel Bauart Babcock & Wilcox von 260 m² wasserberührter Heizfläche (Bild 3), hinter dem ein gußeiserner Rauchgasvorwärmer von 180 m² Heizfläche geschaltet ist. Die Feuerung besteht aus 2 nebeneinander liegenden Halbgastreppenrosten von 12,32 m² Rostfläche. Verfeuert wird Niederlausitzer Förderrohbraunkohle von rd. 2300 cal. Heizwert. Die Zufuhr der Kohle zu dem oberhalb des Kessels liegenden Bunker erfolgt durch einen Conveyor, Bauart Schenk. Am Kopfende des Maschinenhauses befindet sich die Schaltanlage, welche die für die Bedienung des 6000 Volt-Generators, eines 75 kVA-Haustransformators und der Kabelausführungen erforderlichen Schalt- und Schutzeinrichtungen in der üblichen Ausführung enthält.

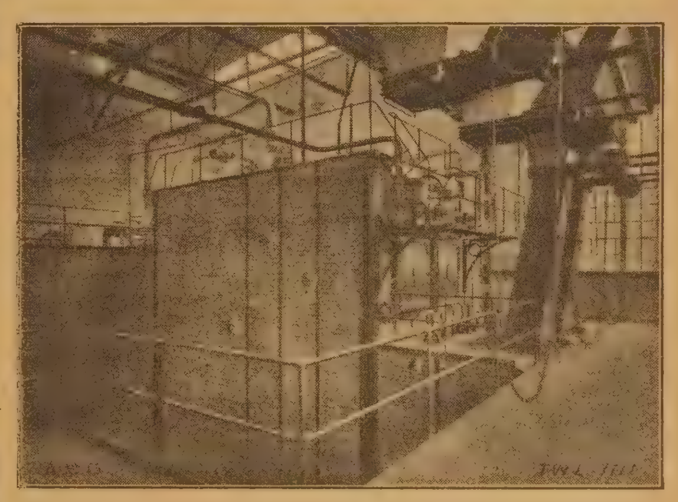


Bild 3. Babcock-Schrägrohrkessel mit Economiser, 260 m² 26 atü.

Die nach den Fabriken führenden Heizdampfleitungen liegen in einem nicht begehbaren durch Betonplatten abgedeckten Fernkanal, der des weiteren die Kondensatrücklaufleitungen, einige Verbrauchs-Wasserleitungen und verschiedene Hoch- und Niederspannungskabel enthält.

Besonders bemerkenswert bei vorliegender Anlage ist die Verwendung relativ hoch gespannten Frischdampfes von 26 atü. Wenn auch seinerzeit noch gewisse Bedenken gegen eine erhebliche Erhöhung des Betriebsdruckes über den bisher für wichtige Kraftwerke üblichen von 15 atü bestanden, so haben die inzwischen gemachten Betriebserfahrungen jedoch gezeigt, daß bei zweckmäßiger Ausgestaltung aller Einzelheiten, insbesondere bei richtiger Auswahl aller Materialien, diese Bedenken nicht berechtigt sind. Der erzielte Gewinn kommt vor allen Dingen dadurch zum Ausdruck, daß der für die verschiedenen Fabrikbetriebe erforderliche elektrische Strom gewonnen werden kann, ohne daß ein Mehraufwand an Heizstoff gegenüber dem für die Erzeugung des Heizdampfes sowieso erforderlichen Kohlebedarf notwendig wird. Eine weitere Ersparnis kann, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, ohne Beeinträchtigung der Betriebssicherheit durch eine weitere Erhöhung des Frischdampfdruckes auf 30 bis 40 atü bei gleichzeitiger Erhöhung der Frischdampftemperatur auf rd. 400 °C erzielt werden.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Der „Reglo"-Antrieb für Metallhobelmaschinen.

Der unter der Bezeichnung „Reglo"-Antrieb ausgeführte Wenderegulìermotorantrieb enthält sämtliche Schaltapparate in einem Schaltschrank, Bild 1. Außer durch den selbsttätig betätigten kleinen Anstoßschalter kann auch durch Druckknöpfe gesteuert werden, so daß in jedem Moment stillgesetzt oder direkt umgesteuert und in beliebiger Richtung angefahren werden kann. Dies wird durch die selbsttätige dynamische Bremsung ermöglicht, die außer beim Stillsetzen auch vor jedem Richtungswechsel wirkt. Während bei jeder mechanischen Bewegungsumkehr die Massenarbeit in der einen Richtung durch zuzuführende Energie in der anderen Richtung vernichtet werden muß, wird dieser Energiemord beim Umkehrmotor durch die selbsttätige Bremsung unnötig; dadurch wird nicht nur bedeutend an Kraft gespart, sondern auch ein absolut stoßfreier Hubwechsel selbst bei den größten Geschwindigkeiten erreicht.

Bild 2 zeigt das Getriebe einer Hobelmaschine mit magnetischer Umkehrkupplung und mit Wenderegulìermotor. Die Hobelmaschine mit etwa 2000 kg Durchzugskraft hat 0,14 m/s niedrigste Schnitt- und 0,45 m/s Rücklaufgeschwindigkeit. Der Kupplungsantrieb hat eine zweite Schnittgeschwindigkeit von 0,55 m/s, während mit dem Umkehrmotor 30 Schnittgeschwindigkeiten eingestellt werden können. Die auf dem Tisch mit Werkstück bezogene Masse des ganzen Getriebes ist $M_K = 833$ kgm/s² für den Kupplungsantrieb und $M_W = 3389$ kgm/s² für den Wenderegulìermotorantrieb. Trotzdem die Masse beim Umkehrmotor bedeutend größer ist, zeigen die Darstellungen, für welche die Umsteuerarbeiten nach Prof. Schlesinger und Prof. Kurrein* berechnet sind, daß die Umsteuerarbeiten und die Belastungsspitzen beim Umkehrmotor viel kleiner sind als bei der Kupplung. Dabei spielt eine Rolle, daß bei der Kupplung die ganze Verzögerungs- und Beschleunigungsarbeit unter Schlupf geleistet werden muß, während beim Umkehrmotor für die Beschleunigung Schlupf (im Anlaßwiderstand) nur bis zur Grunddrehzahl besteht; die übrige Beschleunigung (9/10) erfolgt verlustfrei durch Feldschwächung. Bei beiden Maschinen sind je 1 Schnitthub von 400 mm Nutz- und 500 mm wirklicher Länge mit einmal 0,14 m/s und einmal 0,25 m/s Schnittgeschwindigkeit mit 3 kW Schnittleistung, und 2 Rückhübe mit 0,45 m/s Rücklaufgeschwindigkeit dargestellt. Der bestimmte Wirkungsgrad ist dementsprechend ein Mittelwert. Die Darstellung zeigt ferner die Veränderung dieses Wirkungsgrades mit der Hublänge und den Stromverbrauch für beide Doppelhübe. Dieser ist für die Kupplungsmaschine um 60 vH größer als für die Umkehrmotormaschine. Dazu kommen: größere Spitzenbelastungen der Stromquelle, Riemenersatz usw. Der Zeitwirkungsgrad, d. i. das Verhältnis der theoretisch erforderlichen Zeit zur tatsächlichen, ist bei dem gewählten Hub von 500 mm für die Kupplungsmaschine um etwa 5 vH besser, als für die Wendemotormaschine. Da man aber bei dieser die Geschwindigkeiten entsprechend höher einstellen kann, ist die Leistungsfähigkeit trotzdem, auch bei kurzen Hüben, bedeutend überlegen. Die stoßfreie Bewegungsumkehr ermöglicht es, die Arbeits- und Rücklaufgeschwindigkeiten beim Wendemotorantrieb zu erhöhen. Dieser gewährt außerdem die größte Einfachheit des Getriebes, Platzersparnis und Aufstellungsfreiheit (Gebäudeersparnis). Da die Überlegenheit auch hinsichtlich Arbeitszeit — infolge der Regulierbarkeit — gegenüber magnetischer Umkehrkupplung feststeht, folgt, daß die Wirtschaftlichkeit gegenüber Antrieben mit Riemenumsteuerung usw. ganz außerordentlich ist, so daß sich selbst die nachträgliche Umänderung solcher Maschinen rasch bezahlt macht.

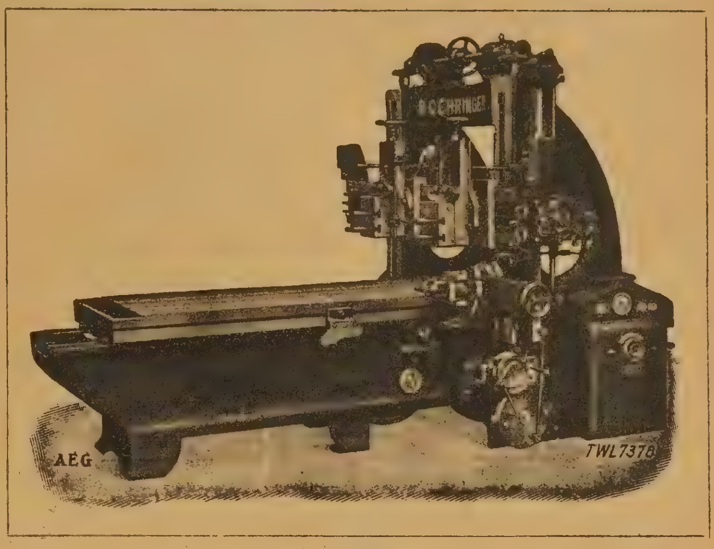


Bild 1
Hobelmaschine von Gebr. Böhringer, Göppingen, mit Reglo-Antrieb

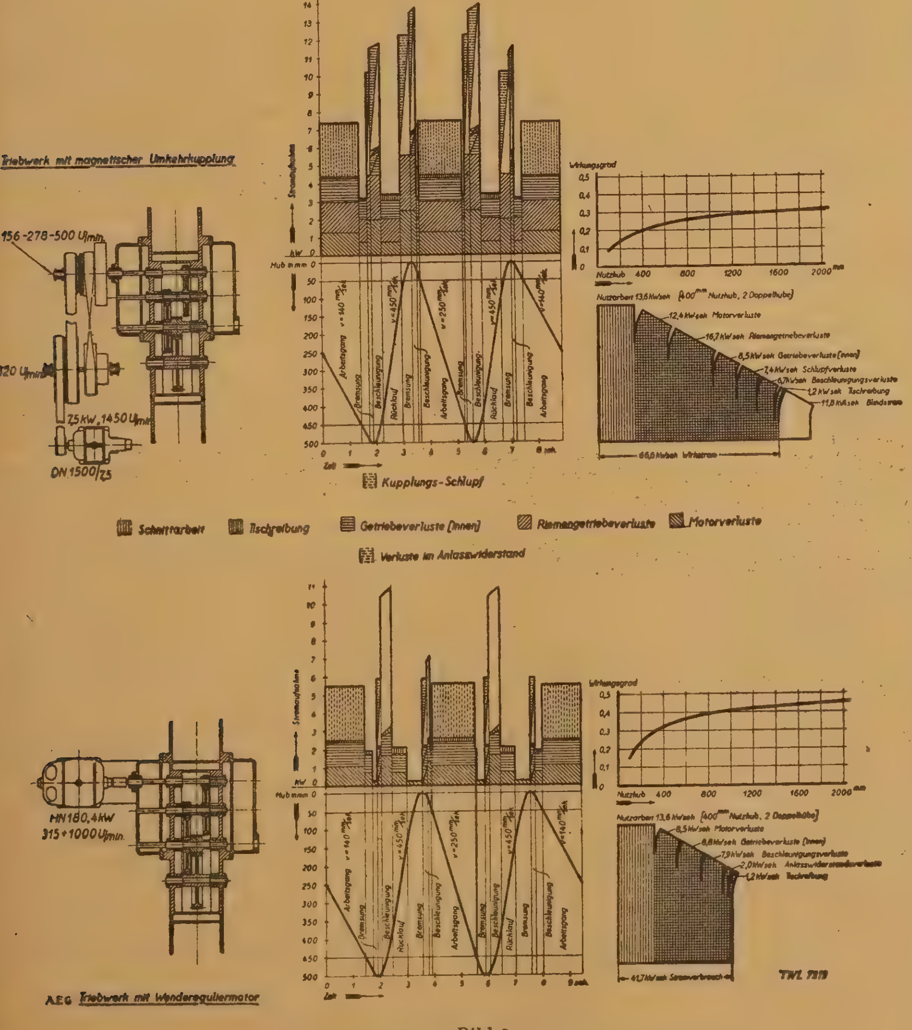


Bild 2.
Hobelmaschine 3 KW Normalleistung ca. 1 m Hobelbreite (Gebr. Böhringer).

* $A = \frac{1}{2} M (v_A + v_R)^2$

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Gleichrichter und andere Umformerarten.

Der Motorgenerator arbeitet mit zweimaliger Energieumformung (elektrisch — mechanisch — elektrisch); demgegenüber ergibt beim Einankerumformer eine rein elektrische, nur einmalige Umformung in einer Ankerwicklung schon erhebliche Verlustersparnis. Kaskadenumformer stehen in der Mitte zwischen Motorgenerator und Einankerumformer.

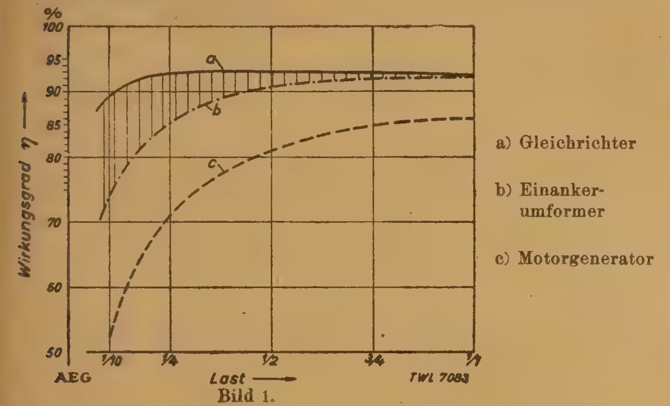


Bild 1.
Wirkungsgradvergleich verschiedener Umformer-Anlagen (je ca. 1000 kW 550 Volt; einschließlich Transformator und Hilfseinrichtungen).

Alle diese Umformerarten haben die Reibungsverluste umlaufender Maschinen und die bei Verwendung magnetischer Felder unvermeidlichen Energieverluste. In dem Streben nach höchstem Wirkungsgrad, wie es für die gesamte neuere Technik richtunggebend ist, sind alle diese Maschinen längst zu einer Höhe entwickelt, bei der weitere einschneidende Verbesserungen kaum mehr erwartet werden dürfen. Für den Einankerumformer besteht außerdem eine Grenze bei höheren Spannungen (1200 bis 1500 V), bei denen die Kommutierung schwierig wird.

Die diesen Umformern gezogenen Schranken zu überschreiten, ist durch den Gleichrichter gelungen, der Lichtbogenvorgänge im Vakuum technisch verwertet.

Als den Wirkungsgrad bestimmender Verlust bleibt hier nur der Spannungsabfall des Lichtbogens (ca. 15 bis 20 V bei Glasgleichrichtern, 25 bis 30 V bei größten Eisengleichrichtern), der von der äußeren Netzspannung vollkommen, von der Stromstärke nahezu unbeeinflußt bleibt. Je höher die Netzspannung ist, desto weniger kommt dieser konstante Spannungsverlust in Betracht, desto höher wird also der Wirkungsgrad. Im Gegensatz zu rotierenden Maschinen mit ihren bei geringer Belastung stark fühlbaren Reibungs- und Magnetisierungsverlusten, bleibt der Wirkungsgrad des Gleichrichters bis fast zum Leerlauf herab annähernd gleich hoch, ist sogar zwischen ¼ und ¾ Last höher als bei Volllast (Bild 1).

Arbeitsweise, Bauarten. Voraussetzung für den Gleichrichter-Vorgang ist, daß in einem hochevakuierten Gefäß eine „heiße" (weißglühende) Kathode und relativ „kalte" Anoden vorhanden sind. Beim Anlegen einer mehrphasigen Wechselspannung erfolgt nach künstlich eingeleiteter „Zündung" ein Stromdurchgang dann nur von Anode zu Kathode, der Lichtbogen springt dabei im Takt des mehrphasigen Wechselstromes jeweils auf diejenige Anode über, die gerade ein höheres Potential als die Kathode hat; jede Anode führt also nur Bruchteile einer Periode Strom.

Von der Kathode (für das Gleichstromnetz dem Pluspol) fließt die Summe dieser Stromimpulse als leichtwelliger Gleichstrom über die Verbraucher zum Transformator-Nullpunkt (dem Minuspol) zurück. Das als Kathode verwendete Quecksilber wird durch den Lichtbogen verdampft, an den gekühlten Gefäßwandungen kondensiert und zu neuem Kreislauf zurückgeleitet.

Glasgleichrichter mit evakuiertem, geschlossenem Glasgefäß werden bis 250 Amp. Einzelstromstärke mit Luftkühlung durch Ventilator gebaut; durch Ölkühlung des Glasgefäßes ist die Leistung noch weiter steigerbar. Von ca. 500 Amp. aufwärts herrscht der wassergekühlte, normalerweise sechsphasige Eisengleichrichter vor (Bild 2). Evakuiert wird dieser durch eine zeitweise laufende kleine rotierende Luftpumpe, außerdem durch eine Quecksilberdampfstrahlpumpe. Zur Regulierung der Gleichstromspannung wird die dem Gleichrichter zugeführte Wechselstromspannung verändert. Hierzu können Drehtransformatoren, oder mit Rücksicht auf Kurzschlußsicherheit und Verlustersparnis vorteilhafter Stufenschalter verwendet werden, wie sie vor allem die AEG in Verbindung mit günstigen patentierten Transformatorschaltungen in der Regel ausführt.

Die größte zur Zeit im Betrieb befindliche Eisengleichrichter-Type ist der 1500 Ampere-Gleichrichter der AEG.

Anwendungsgebiete, Erfahrungen in ausgeführten Anlagen. Neue Möglichkeiten eröffnen sich durch den Gleichrichter vor allem im Gebiet der höheren Gleichstromspannungen. Der Gesamtwirkungsgrad einer vollständigen Anlage steigt von 92 bis 93 % bei 500 V auf ca. 95 % und mehr bei 1200 bis 1500 V, ohne daß damit eine Grenze erreicht wäre. (Bei Spannungen unter 220 V ist dagegen meist der Einankerumformer durch höheren Wirkungsgrad bei geringerem Preis dem Gleichrichter überlegen.)

Die Unempfindlichkeit des Gleichrichters gegen sehr hohe kurzzeitige Stöße und der hoch bleibende Wirkungsgrad ermöglichen auch in unregelmäßig belasteten Anlagen (z. B. Bahnen) eine mit anderen Umformern nicht erreichbare hohe Wirtschaftlichkeit der Umformung. (Jahreswirkungsgrad durch die AEG ausgeführter Straßenbahnunterstationen bei 500 bis 600 V nach Zählerablesungen, z. B. 92 % und darüber, einschl. aller Verluste in Hilfseinrichtungen, Stationstransformator, Beleuchtung usw.)

Dadurch, daß Glasgleichrichter schon in der normalen Ausführungsart nach erfolgter Einschaltung so gut wie keiner Bedienung bedürfen, wird in vielen Fällen entscheidende Ersparnis an Bedienungskosten erzielt. Auch schwachbelastete Bahnen sind in dieser Weise im Betrieb.

Umformerstationen großer Leistung können vorteilhaft mit Eisengleichrichtern für halb- oder vollautomatischen Betrieb eingerichtet werden. Im Gegensatz zu rotierenden Maschinen, wo Anlauf, Synchronisierung, Polarität und dergleichen bei Automatisierung die Hauptschwierigkeiten bieten, genügen für die wenigen, einfachen Schaltvorgänge beim Gleichrichter verhältnismäßig einfache und dadurch sichere Einrichtungen.

Im ganzen genommen, hat zweifellos die Entwicklung des Gleichrichters nach Überwindung der Anfangsschwierigkeiten heute zu voll betriebstüchtigen und betriebserprobten Bauarten geführt und damit außer einer wirtschaftlicheren Versorgung bestehender Gleichstromnetze aus Drehstrom-Überlandnetzen einen erhöhten Anreiz zur Verwendung von Gleichstrom und dadurch zur Ausnutzung der wertvollen Eigenschaften des Gleichstrommotors (für Bahnen, Regulierantriebe, Hebezeuge usw.) gebracht.

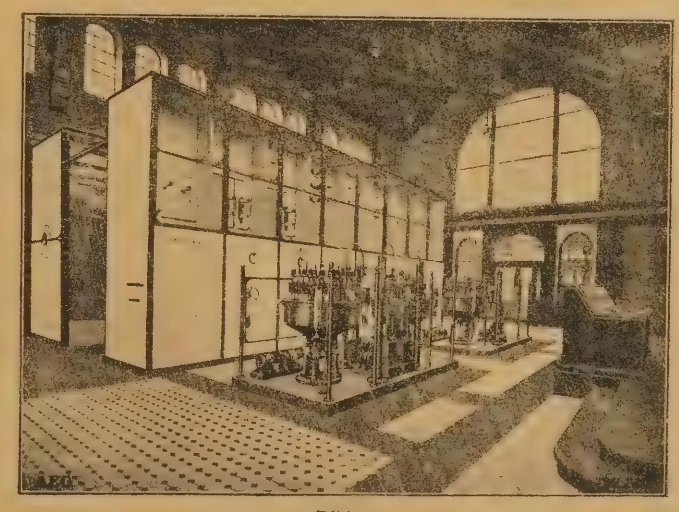


Bild 2.
Alte Gasmaschinen-Zentrale; umgebaut in Gleichrichterwerk.
(3 AEG-Gleichrichter je 500 Amp. 480/600 Volt für Licht-, Kraft- und Straßenbahnversorgung.)

Daß im übrigen nicht eine Maschinenart das Ideal für alle Zwecke bildet, und daß vor allem auf gewissen Grenzgebieten erst die kritisch prüfende und abwägende Projektierungstätigkeit des Ingenieurs die im Einzelfall vorteilhafteste Lösung bringt, gilt, wie überall in der Technik, so auch hier.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilung der Rohr- und Seilpostanlagen G. m. b. H.
(Mix & Genest, Berlin-Schöneberg)

Ein neues Transportsystem für Massenartikel. System Haller — Mix & Genest (D. R. P.)

„Jeder ersparte Schritt ist Gewinn!"
(Henry Ford)

Ein neues Kleintransportsystem, das für die Beförderung von Massenartikeln in Fabrikräumen Bedeutung hat, ist in den beifolgenden Abbildungen dargestellt.

Es besteht aus einer kleinen Elektrohängebahn, die nach demselben Prinzip ausgeführt ist wie die bekannten Systeme für großen Massentransport. Bild 1. An dem durch Elektromotor angetriebenen Wagen ist ein Behälter angeordnet, dessen Form und Größe dem zu befördernden Gut angepaßt wird. Neu an dem System ist die selbsttätige Auf- und Abladung der Gegenstände. In dem Bild 2 ist z. B. eine Anordnung dargestellt, wie sie für die Beförderung von Büchern und Schriftstücken Anwendung findet. In einem Büro sind bei den einzelnen Plätzen Fächer angeordnet, auf denen die Bücher und Schriftstücke, welche befördert werden sollen, ihrer Zielstation entsprechend verteilt werden. Das Gleis ist in einer solchen Höhe angeordnet, daß es den Verkehr nicht behindert. Der auf dem Gleise fahrende Wagen besitzt die genau gleiche Anzahl von Aufnahmefächern. Wenn er sich einer Station nähert, so schaltet er den bei der Station befindlichen Aufzug ein, wodurch der Aufzug in das Niveau des Wagens gefahren wird. Im Vorbeifahren greifen die Fächer des Wagens kammartig unter die Fächer des Aufzuges, und die Abstreicher laden gleichzeitig die aufgelegten Gegenstände ab und geben die vom Wagen mitgebrachten Gegenstände an den Aufzug ab. Ist der Wagen vorbeigefahren, so wird der Aufzug automatisch umgesteuert, er fährt nach unten, die mitgebrachten Briefe usw. können aus den Fächern entnommen werden.

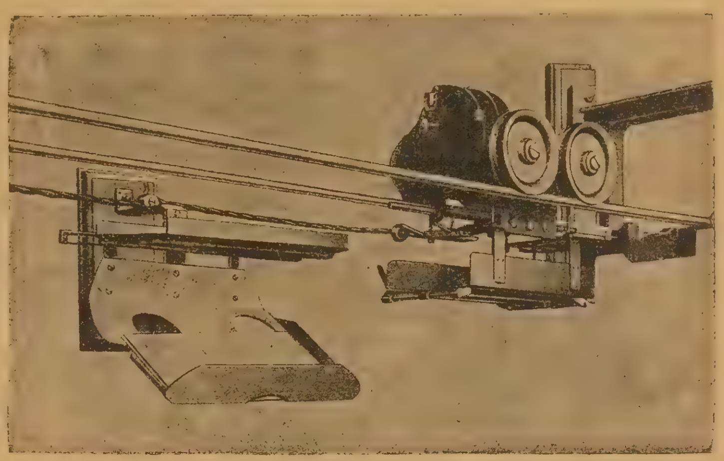


Bild 1

Eine andere Anordnung besteht darin, daß der Wagen auf den Aufzug fährt, sich selbsttätig ausschaltet und nun von dem Aufzug in eine andere Etage befördert wird, wo er auf dem anderen Gleis wieder selbsttätig in Betrieb gesetzt wird und weiterfährt. Es besteht die Möglichkeit, Gegenstände bis zu ca. 50 kg zu befördern. Besonders zweckmäßig dürfte diese Einrichtung für die Verteilung und Einsammlung von Massengütern in Fabriken für Massenfabrikation sein, daß z. B. die Materialien von einer Zentralstelle aus durch einzelne Wagen an bestimmte Maschinen befördert werden. Die Wagen laden die Gegenstände bei der Maschine ab und kehren durch ein kreisförmig geführtes Gleis wieder zur Zentralstelle zurück. Durch selbstätige Steuerung wird jeder Wagen seine mitgebrachten Teile bei einer anderen Maschine abladen. Sind diese Teile fertig bearbeitet, so wandern sie durch Rutschen oder Transportbänder zur nächsten Maschine, bis sie schließlich, nachdem der Gegenstand vollständig bearbeitet ist, an einer Stelle endigen, wo die Wagen auf dem Rückwege wieder vorbeifahren. Hier werden die Teile wieder selbsttätig mitgenommen und am Ausgangspunkte abgeliefert.

Das System ist bereits in zahlreichen Anlagen ausgeführt, und es besteht die Möglichkeit, auch mehrere Etagen auf diesem einfachen Wege miteinander zu verbinden. Wenn sich z. B. das Lager im Keller befindet, so könnten die Teile vom Keller nach einem beliebigen oberen Stockwerk befördert werden, hier bearbeitet und selbsttätig wieder nach dem Keller zurückgeschafft werden, worauf sie eine weitere Wanderung nach den Montageräumen selbsttätig antreten.

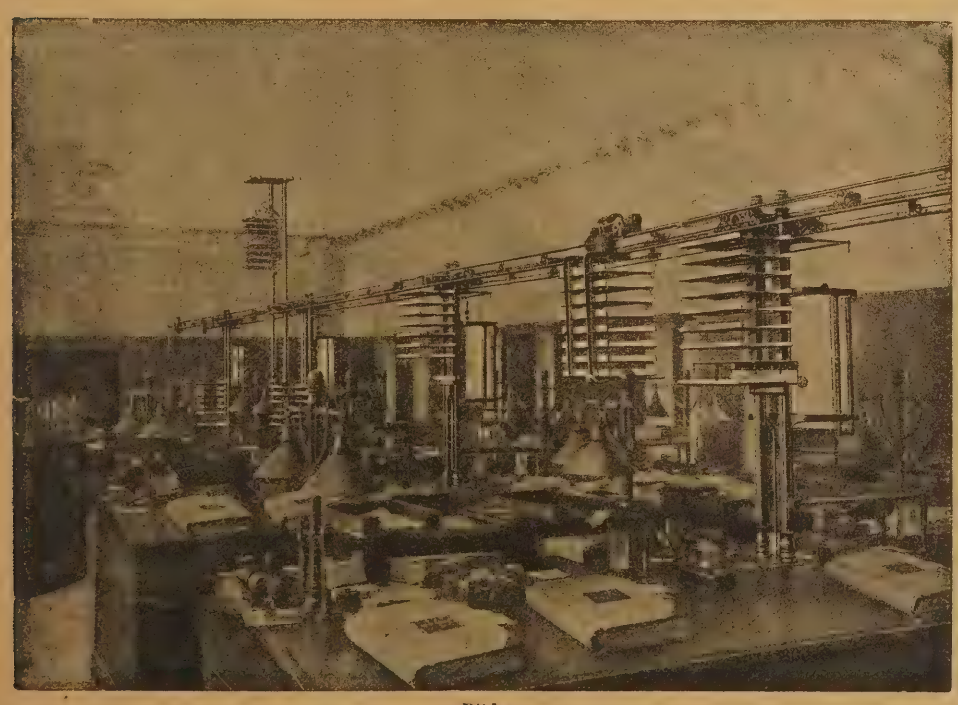


Bild 2

Eine andere Verwendungsart für dieses Transportsystem ist die Verbindung entfernt gelegener Gebäude in großen Industriewerken. Um die Beförderungszeit auf langen Strecken abzukürzen, werden die Wagen mit selbsttätigen Schaltvorrichtungen versehen, die bewirken, daß die Wagen auf der freien Strecke mit einer Geschwindigkeit von ca. 3 m/s fahren. Nähert der Wagen sich einer Station, so ermäßigt er seine Geschwindigkeit auf ca. 0,3 m/s, so daß die Anfahrt in langsamerem Tempo erfolgt. Ebenso fährt der Wagen zunächst langsam an und beschleunigt seine Bewegung, sobald er die freie Strecke erreicht hat. Sind in einer größeren Anlage Weichen vorhanden, so werden diese von dem Wagen selbsttätig gesteuert, d. h. der Wagen kann von jeder Station zu jeder beliebigen anderen gesteuert werden.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

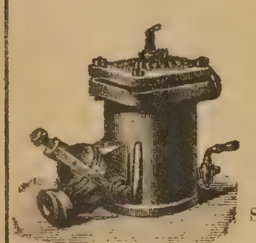


ABSCHLAMM-VENTILE

J. G. Merckens, A.-G.,
Apparatebau, Armaturenfabrik,
Aachen-B., Bendstr. 2—8.

ARMATUREN

für Dampf Gas Wasser liefert als Spezialität



Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen
der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

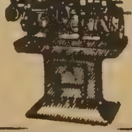
Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

Epstein
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei & Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.



BEHÄLTER

Lyra-Kompensatoren, Kessel, Kondensatormäntel, Rohrschlangen, Unterstützungen, Vorwärmer, Wasserabscheider, Montagen im In- und Auslande durch

E. Otto Dietrich
Rohrleitungsbau-A.-G. Bitterfeld
Berlin-Wilmersdorf, Babelsbergerstr. 7
Eigenes Röhrenwerk.

BENZINLAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BÜRSTEN

für die gesamte Industrie
zu Maschinen-
oder Reinigungszwecken
nach Angabe und Zeichnung

Joseph Pötz, Neuwied.



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweis ndriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser
G. m. b. H.,
Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

SICHERHEITS-
DAMPFKESSEL-SCHLAMM-ABLASS-VENTILE

System „Bühring" D. R. G. M.

Ventilkegel während des Betriebes nachschleifbar.
Aus Vorrat lieferbar.

Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik / Kesselschmiede
Apparatebau

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

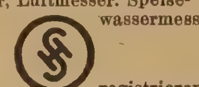
DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost.
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser. Speisewassermesser

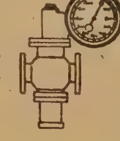


anzeigend, registrierend
zählend.

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für Kesselhäuser u. dergl.



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DIAMANT-WERKZEUGE

für alle Zwecke
Diamantwerkzeugfabrik
„Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o,
Belle-Alliance-Straße 82



DIESELMOTOR

Dichtungsmaterial
„Vulcabeston"-Ringe
fabriziert seit 25 Jahren als Spezialität

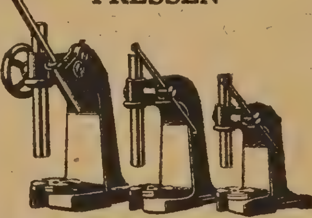
Markus M. Bach,
Berlin W 15, Fabrikhof

DIESELMOTORE

u. alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9 a.



ELEKTRO-FLASCHENZÜGE

500 bis 5000 kg Tragkraft

Adolf Zaiser, Maschinenfabrik,
Stuttgart.

ELEKTRISCHE HANDBOHRMASCHINEN

Tischbohrmaschinen
Schleifmaschinen

Arthur Senftleben
Berlin N 113

ELEKTRO-FLASCHEN-ZÜGE

Seilzüge für größere Hubhöhen, „Schlangenzüge" für kleineren Hub oder genaueste Arbeiten.

R. Stahl A.-G.
Aufzugfabrik
Stuttgart

ENTÖLER

F. Mattick,
Dresden 24 c, Münchener Str. 30
Maschinenfabrik und Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.

EX-HAUSTORE

Ventilatore
Luftbefeuchtung,
Luftheizung,
Trocknung



Friedr. Haas,
Lennep (Rhld.)

FEDERN

Zug- und Druckfedern in allen Stärken u. für alle technische Zwecke

C. M. Pieper & Co.
Drahtweberei und Federnfabrik
Gegründet 1825
Hohenlimburg

FILZE

für technische Zwecke

Carl Günther & Co.,
Filzwarenfabrik,
Berlin NO 43, Neue Königstr. 71

FILZE

für alle technischen Zwecke, spez. Schleif- und Polierfilze, Dichtungsfilze, Unterlagfilze. Filzformstücken jeder Art.

Steinhäuser & Kopp
Filzfabrik
Offenbach am Main

FLANSCHEN

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

FLASCHENZÜGE

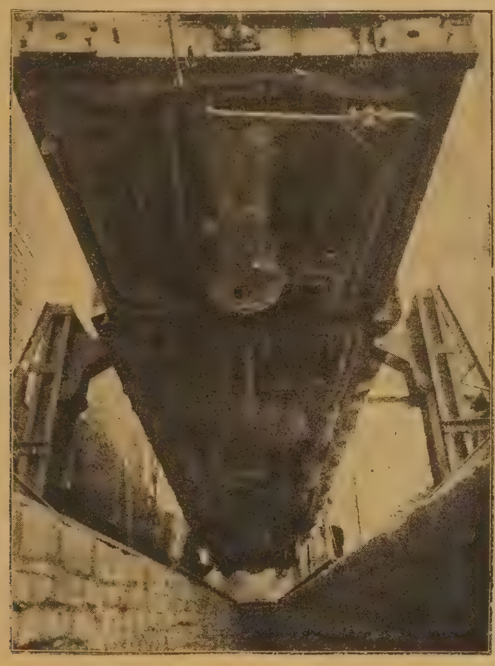
G. F. Martin, G. m. b. H.,
Hannover-Linden 47.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Benzoltriebwagen im Eisenbahnverkehr

Linke-Hofmann-Lauchhammer- (L H L-) Mitteilungen

Neuerdings sind Triebwagen konstruiert worden, bei denen die Kräfte der Verbrennungskraftmaschinen auf mechanischem Wege auf die Räder wirken. Eine ganze Reihe von deutschen Firmen hat sich auf diesem Gebiete betätigt. Unter diesen auch die „Linke-Hofmann-Lauchhammer A.-G.“ in Verbindung mit der „Nationalen Automobil-Gesellschaft“ und der „Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft“. Diese drei Firmen haben



gemeinschaftlich Triebwagen in den Verkehr gebracht, welche seit mehreren Jahren im Inlande und im Auslande unter den verschiedensten klimatischen Verhältnissen sich hervorragend bewährt haben.

Diese Wagen haben gegenüber den Akkumulatorenwagen und den benzolelektrischen Wagen den Vorteil, daß sie neben geringeren Beschaffungskosten bedeutend leichter sind und infolgedessen sehr wesentlich wirtschaftlicher arbeiten, weil viel Kraft gespart wird, die sonst allein zum Fortschleppen der eigenen toten Last erforderlich ist. Auch sind sie in ihrer Freizügigkeit nicht durch die Abhängigkeit von den Ladestationen beschränkt.

Als Motoren kommen Vier- oder Sechs-Zylindermotoren zur Anwendung, die im Viertakt arbeiten. Das Anlassen der Motoren erfolgt in der Regel elektrisch, doch ist Vorsorge getroffen, daß beim etwaigen Versagen des Stromes auch ein Anlassen durch Handkurbel erfolgen kann. Ganz besondere Sorgfalt wurde auf das Wechselgetriebe verwendet, wobei die Anordnung gewählt wurde, daß so viele Zahnräderpaare im Eingriff bleiben, als Übersetzungen gewünscht werden.

Das Ein- und Ausrücken der verschiedenen Gänge erfolgt durch Reibungskupplungen, welche durch Preßluft betätigt werden. Jede stoßweise Beanspruchung des Zahngetriebes ist hierbei vermieden. Für jeden Geschwindigkeitsgang ist eine besondere Kupplung vorhanden.

Das Luftsteuerventil führt d e m Kolben Luft zu, dessen Zahnräder die Kräfte übertragen sollen. Alle anderen Zahnräderpaare laufen leer mit.

Der Vorgang im Getriebekasten ist folgender:

Die Motorwelle arbeitet durch die Zahnräder auf die Nebenwelle, auf welcher die verschieden großen Zahnräder feststehend aufmontiert sind. Auf der Getriebswelle selber sitzen lose die Kupplungszahnräder und mit diesen starr verbunden die Kupplungstrommel.

Soll nun der erste Gang eingeschaltet werden, so läßt der Wagenführer Druckluft in den Zylinder ein durch Drehen der Fahrkurbel auf Stellung „1“. Die Druckluft bewegt den Kolben „1“ und drückt durch eine Hebelübertragung die inneren Kupplungsteile gegen die Kupplungstrommel. Die Getriebewelle wird nunmehr mit der Geschwindigkeit des Zahnräderpaares „1“ mitgenommen. Durch Weiterdrehen der Fahrkurbel auf Stellung „2“ wiederholt sich derselbe Vorgang durch den Zylinder „2“. Das Fahren ist einfach. Der Führer braucht nur bei Beginn durch einen Hand- und Tretkontakt den Motor anzulassen und zum Anfahren die Kurbel auf Stellung „1“ zu drehen. Vor dem Übergange zur zweiten Geschwindigkeitsstufe wird, um eine ruckartige Beschleunigung der Fahrgeschwindigkeit zu vermeiden, die Umlaufzahl des Motors durch Abdrosselung von Gas vermindert; dann erst wird das zweite Zahnradpaar durch Drehen der Fahrkurbel auf Fahrstellung „2“ eingerückt. Hierdurch wird die Motorumdrehzahl wieder gesteigert, bis zur Höchstgeschwindigkeit. Derselbe Vorgang wiederholt sich bis zum unmittelbaren Achsenantriebe.

Mit dem Getriebe ist der Kompressor verbunden, welcher die Preßluft für die Regulierung des Motors, für die Betätigung des Wechsel- und Wendegetriebes und für den Bremsluftbehälter liefert. Das Wendegetriebe hat die Aufgabe, die Fahrtrichtung des Wagens zu ändern. Da dies nur bei Stillstand des Wagens erfolgen soll, so ist im wesentlichen die beim Automobil bewährte Bauart übernommen worden mit der Abänderung, daß die Betätigung nicht auf mechanischem Wege durch Hebelübertragung, sondern durch Luftdruck erfolgt.

Durch eine Welle mit zwei Kardangelenken wird vom Wendegetriebe aus die Wagenachse mittels Kegelräder angetrieben. Bei Wagen, welche starke Steigungen zu überwinden haben, werden von einem Wendegetriebe aus zwei Wagenachsen angetrieben.

Die Wagen werden mit Handspindel- und Luftdruckbremse ausgerüstet.

Die Beleuchtung für das Innere und die Signale erfolgt durch eine vom Verbrennungsmotor angetriebene Boschdynamo von 225 Watt Leistung. Eine Akkumulatorenbatterie ist parallel geschaltet, die gleichzeitig den Strom für die Anlasser liefert.

Für die Heizung wird das Kühlwasser des Motors benutzt, welches in der kalten Jahreszeit durch seitlich im Wagenkasten und unter den Sitzbänken angeordnete Heizkörper geleitet werden kann.

Die Signalpfeifen und das Läutewerk werden gleichfalls durch Druckluft bedient.

Alle zum Steuern des Wagens erforderlichen Betätigungsorgane und die Meßinstrumente befinden sich übersichtlich geordnet vor dem Führerstande.

Für den Wagenkasten mußte außer den normalen Anforderungen wie hinlängliche Entlüftung und Beleuchtung, Wärmeschutz, zweckmäßige Platzverteilung, geräumige Ein- und Ausgänge noch im besonderen gefordert werden, daß die



Gewichte ohne Gefährdung der Stabilität möglichst niedrig gehalten werden.

Um möglichst allen verschiedenen Anforderungen schnell entsprechen zu können, hat man 5 Normaltypen ausgebildet.

Infolge der Anwendung der Preßluft für die Fernsteuerung der Motoren und für die Schaltung des Geschwindigkeitsgetriebes können auch zwei und mehr Wagen zusammengekuppelt und Motoren und Getriebe des ganzen Wagenzuges von einem Führer gesteuert werden.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

A

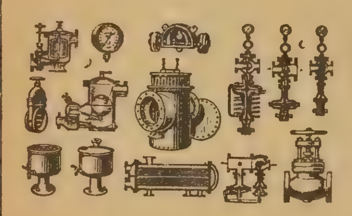
ABDAMPF-ENTÖLER

„BÜHRING" / D. R. P.
mit Ölrückgewinnung



Bühring A.-G., Landsberg
Bez. Halle / Maschinenfabr. Kesselschmiede Apparateb.

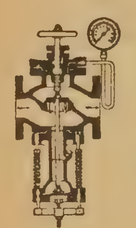
ARMATUREN



Bügler & Co., Hannover-V
Maschinen- und Armaturenfabrik.

ARMATUREN

für



Dampf, Gas, Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin.

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme
Spez.:
Industrieaufzüge
Maschinenfabrik Erich Gimpel
Berlin SO 33
Telephon: Moritzplatz, 1442 u 7188
Lieferant. staatl. u. städt. Behörden

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE



Maschinenfabrik
Mühleissen m. b. H.
Elberfeld

AUFZÜGE

Elektr. Aufzüge
mit Druckknopfsteuerung
Paternosteraufzüge
Selbsttätige Kippaufzüge für Kohlen- und Schlackenförderung
R. Stahl A.-G., Stuttgart

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei & Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!
Leipzig 1
Tröndlinring 1



BENZIN-LAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BIEGSAME WELLEN

Maschinenfabrik
Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde, SteglitzerStr.21d



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.
Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)
Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, registrierend
zählend.
Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke
Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

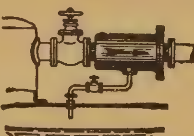
mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.
Luft- und Gasmesser
Wassermesser
in Präzisionsausführung



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DAMPFTROCKNER

„ORCA" / D. R. P.



Dampfreiniger
Entwässerer
erzeugt völlig reinen schlammfreien trockenen Dampf
Kohlenersparnis bis 15%
Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik - Kesselschmiede
Apparatebau

DIESELMOTOR

Dichtungsmaterial
„Vulcabeston"-Ringe
fabriziert seit 25 Jahren als Spezialität
Markus M. Bach,
Berlin W 15, Fabrikhof

DIESELMOTORE

u. alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.
Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DIAMANTWERKZEUGE
DIAMANTEN

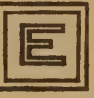
seit


1847

Ernst Winter & Sohn, Hamburg SW 19

DREHBÄNKE

BOHRMASCHINEN, KALTSÄGEN, PARALLELSCHRAUBSTÖCKE
C. Kenter & Co.
Charlottenburg, Kaiserdamm 89
Telegr.: Kentereisen / Telef.: Westend 784



ENTÖLER

F. Mattick, Dresden 24c
Münchener Str. 30
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.



FEILEN

aller Art Marke F.D.
Friedr. Dick G. m. b. H.
Feilenfabrik ESSLINGEN am Neckar

FLANSCHEN

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

FLASCHENZÜGE

G. F. Martin, G. m. b. H.,
Hannover-Linden 47.

FRÄSER

aller Art Marke F.D.
Paul F. Dick, Esslingen a. N.
Stahlwaren- und Werkzeugfabrik.



GREIFER D. R. P.



Maschinenfabrik Carl Laudi
Einbeck (Hannover)

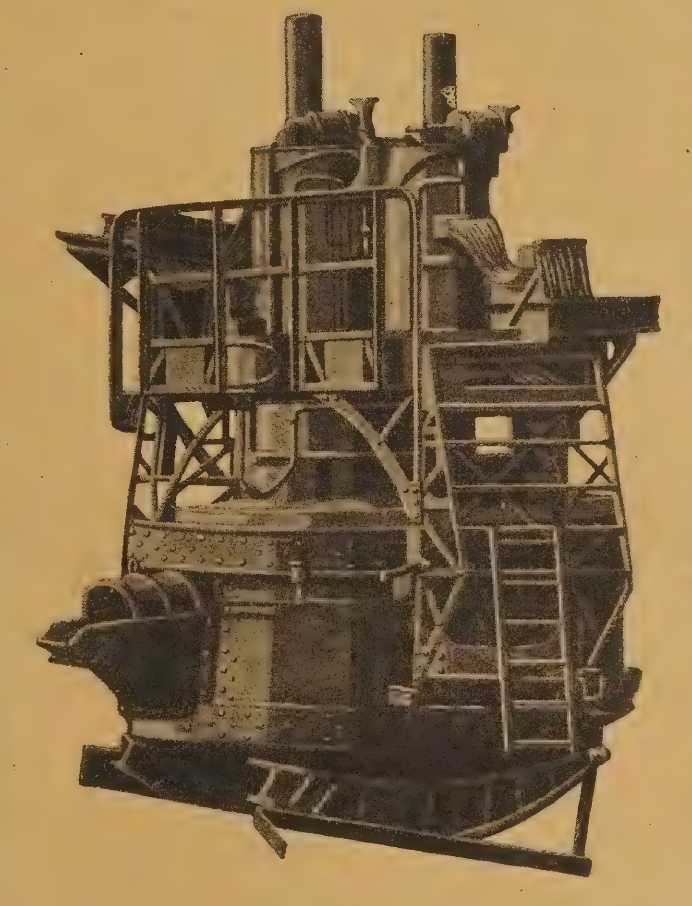
BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Ein Elektrostahlofen von hoher Wirtschaftlichkeit.

Auf dem Gebiete der wirtschaftlichen Kraftverwertung hat, besonders in den letzten Jahren, der Elektrostahlofen die Aufmerksamkeit weiter Kreise der Hütten- und Maschinenindustrie in immer steigendem Maße wachgerufen. Seine Verwendung folgt dem Wunsche, die beste Qualität des Erzeugnisses bei geringstem Verbrauch an Energie zu erzielen. Der Elektroofen macht das Werk, in welchem er aufgestellt ist, im Vergleich zu anderen Öfen, wesentlich unabhängiger in Bezug auf die Güte des Einsatzes, da in diesem Ofen auch geringwertige Abfälle in größeren Mengen eingesetzt werden können. Er fördert ferner das Entstehen von Stahlwerken an Orten, in denen die Aufstellung eines mit Kohle oder Koks beheizten Ofens nicht in Betracht gezogen werden kann. Er beansprucht weniger Raum als ein solcher Ofen; auch läßt sich sein Betrieb der jeweils gewünschten Produktionsmenge leichter anpassen. Er ist überall dort am Platze, wo größere, billig produzierende Energiequellen für Großabnehmer verfügbar sind.



Der Elektrostahlofen selbst hatte sich schon etliche Jahre in verschiedenen, praktisch brauchbaren Systemen in die Industrie eingeführt gehabt, ohne daß man sich jedoch ernstlich darum bemüht hatte, seine Wärmewirtschaft näher zu erforschen. Sein Wirkungsgrad mit ca. 50 % wurde längere Zeit hindurch nicht wesentlich verbessert, und erst die letzten Jahre brachten grundlegende Fortschritte in dieser Hinsicht. Man erkannte, daß durch Einführen von Graphitelektroden, durch sorgfältiges Abdichten der Elektroden an der Deckeldurchtrittstelle, sowie durch verschiedene Maßnahmen elektrischer Natur, wie Betreiben des Ofens mit größeren Leistungen und höheren Spannungen als bisher üblich, die Wirtschaftlichkeit des Ofens ganz wesentlich erhöht werden kann.

Auf diese Weise gelang es, die kWh-Verluste des Ofenbetriebes erheblich zu verkleinern, so daß eine Verbesserung des Wirkungsgrades auf 70 % und darüber erzielt wurde. Hierbei ist als Wirkungsgrad das Verhältnis des theoretisch zum Schmelzen erforderlichen Energiebedarfes zum tatsächlichen, dem Ofen zugeführten Energieaufwand, gemessen vor dem Ofentransformator, verstanden.

Ein Elektrostahlofen, der den vorstehend geschilderten Prinzipien in weitgehendem Maße entspricht, ist der Fiat-Ofen, dessen mechanischen Teil die Demag, Duisburg, liefert, während die AEG die elektrische Ausrüstung des Ofens herstellt. Er gehört zur Gruppe der Héroultöfen, unterscheidet sich aber von den bisher üblichen Öfen dieser Art in folgenden Einzelheiten:

1) Er besitzt Graphitelektroden. Diese gestatten, da ihre elektrische Leitfähigkeit etwa 10mal höher ist als die von Kohlenelektroden, Anwendung kleinerer Durchmesser und Niedrighalten der Stromverluste in den Elektroden.

2) Die Elektroden sind gasdicht durch den Ofendeckel geführt; dadurch wird der Elektrodenabbrand stark vermindert; ferner kommen beim Fiatofen vornehmlich die bei Elektroöfen mit nicht abgedichteten Elektroden auftretenden, recht erheblichen Verluste durch die an der Durchführung abziehenden heißen Ofengase gänzlich in Wegfall. Auch wird der Deckel dadurch sehr geschont.

3) Die Elektroden-Durchführungen sowie der gesamte Bewegungsmechanismus der Elektroden ist auf einer Brücke angeordnet, welche mit einem einzigen Kranzug abgehoben werden kann; dies ist bei Erneuern des Deckels oder der Zustellung von großem Vorteil.

4) Durch eine besondere Ausbildung des wassergekühlten Rahmens der Chargieröffnung ist ferner der empfindliche Gewölbebogen über dieser beseitigt, ein Umstand, der zusammen mit der erwähnten Schonung des Gewölbes die hohe Lebensdauer einer Ofenausmauerung von über 100 Chargen bei den in Betrieb befindlichen 5 t-Öfen herbeigeführt hat.

Auf diese Weise ist es möglich geworden, im Fiat-Ofen so große Energiemengen zu verwenden, daß vor allem eine wesentliche Abkürzung der für die Chargendauer ausschlaggebenden Einschmelzperiode erreicht wird. Zum Beispiel sind mit den Fiat-Öfen von 5 t-Inhalt bis zu 9, mit einem solchen Ofen von 1 t-Inhalt bis zu 16 Chargen in 24 Stunden bei Schrotteinsatz erzielt worden. Die Folge hiervon ist, daß die genannten Verluste, sowie jene durch Strahlung und der Wattverlust in Transformator und Leitungen während kürzerer Zeit, als bei den alten Konstruktionen auftreten, also auf 1 t Erzeugung bedeutend kleiner werden. So ist es verständlich, daß der Wirkungsgrad auf 70 % und darüber gebracht wurde. Der Stromverbrauch für 1 t Stahl ist denn auch schon bei kleineren Öfen 600 bis 700 kWh, gegen früher etwa 900 bis 1000 kWh im Durchschnitt, ausgehend von Schrotteinsatz.

Dazu kommt natürlich als Folge der größeren Produktion eine Verminderung der Löhne, berechnet auf 1 t Stahl.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß die Brücke, welche die Elektroden trägt, infolge der vollkommenen Abdichtung auch während des Betriebes ohne Belästigung der Arbeiter durch austretende Gase und Hitze betreten werden kann, so daß das Ansetzen der neuen Elektrodenstücke bequem und fast ohne Unterbrechung des Ofenganges ausführbar ist.

Kurz zusammengefaßt ergeben sich also folgende Vorteile des Fiatofens:

Erhöhung der täglichen Chargenzahl,
Ersparnis an Löhnen für 1 t Stahl,
Verminderung des Stromverbrauchs,
Herabsetzung des Elektrodenverbrauches,
Neutrale Atmosphäre im Ofen,
Verminderung des Verbrauches an Desoxydationsmitteln,
Verminderung des Abbrandes,
Verlängerung der Lebensdauer des Ofenmauerwerkes,
Bequemes Ansetzen der Elektroden im Betriebe.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ARMATUREN

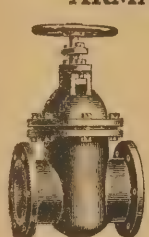


für
Dampf
Gas
Wasser

liefert
als
Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN



in Eisen mit
Metalldichtung
Schieber
Ventile,
Hähne

**Eisenwerk
Heinrich Schilling**
Eisengießerei und
Armaturenfabrik
Kracks b. Bielefeld

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen
der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

AUFZÜGE

für Personen und Lasten,
spez. Druckknopfsteuerung
Paternoster-Aufzüge

Adolf Zaiser, Maschinenfabrik,
Stuttgart.

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1

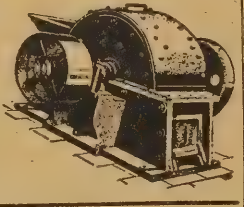


BENZIN-LAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BRECHER „ZICK-ZACK"



Hammermühlen.
Wichtige Neuerungen.

Friedrich Haas
Lennep (Rhld.)

BÜRSTEN

für die gesamte Industrie
zu Maschinen-
oder Reinigungszwecken
nach Angabe und Zeichnung

Joseph Pötz, Neuwied.

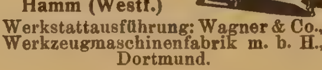


KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

**Adolf Kreuser
G. m. b. H.,
Hamm (Westf.)**



Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFKESSEL-ARMATUREN

baut
Carl Vogel, Chemnitz

SICHERHEITS-
DAMPFKESSEL-SCHLAMM-ABLASS-VENTILE

System „Bühring" D.R.G.M.

Ventilkegel während des Betriebes nachschleifbar.
Aus Vorrat lieferbar.

Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik / Kesselschmiede
Apparatebau

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

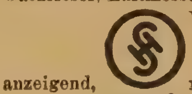
DAMPFMESSER

Belastungsmesser in verschied. Ausführungen,
Luftmengenmesser, Manometer,
Wassermesser, Thermometer

J. C. Eckardt A.-G.
Stuttgart-Cannstatt

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser. Speisewassermesser



anzeigend, registrierend
zählend.

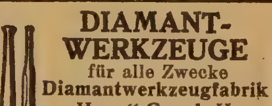
Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER



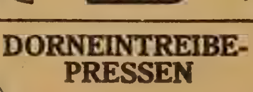
mit automatischer
Druckberücksichtigung
D. R. P.
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für
Kesselhäuser u. dergl.

Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz



DIAMANT-WERKZEUGE

für alle Zwecke
**Diamantwerkzeugfabrik
„Haga" G. m. b. H.**
Berlin SW 29 o,
Belle-Alliance-Straße 82



DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9 a.

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68



ELEKTRISCHE HANDBOHR-MASCHINEN

Tischbohrmaschinen
Schleifmaschinen

Arthur Senftleben
Berlin N 113

ELEKTRO-FLASCHEN-ZÜGE

Seilzüge für größere Hubhöhen, „Schlangenzüge" für kleineren Hub oder genaueste Arbeiten.

R. Stahl A.-G.
Aufzugfabrik
Stuttgart

ENTÖLER

F. Mattick, Dresden 24c
Münchener Str. 80
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTÖLER

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.



FEDERN

Zug- und Druckfedern in allen Stärken u. für alle technische Zwecke

C. M. Pieper & Co.
Drahtweberei und Federnfabrik
Gegründet 1825
Hohenlimburg

FILZE

für technische Zwecke

Carl Günther & Co.,
Filzwarenfabrik,
Berlin NO 43, Neue Königstr. 71

FLANSCHEN

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Wirtschaftliche Kupplung von Dampfnetzen.

Beim Einbau von Hochdruckkesseln in vorhandene Dampfanlagen war man bisher darauf angewiesen, die bestehenden Kessel von niedrigerem Druck getrennt zu betreiben. Die mit verbesserten Feuerungen ausgerüsteten, bedeutend wirtschaftlicher arbeitenden Hochdruckkessel können dabei nur die Hochdruckdampfverbraucher versorgen und werden besonders bei wechselnder Belastung unvollkommen ausgenützt. Die Hochdruckkessel sind außerdem durch ihren kleineren Wasserraum für wechselnde Belastung weniger geeignet als die Niederdruckkessel.

Durch Kupplung der Hoch- und Niederdruckkessel unter Zwischenschaltung eines sicher wirkenden Dampfdruckreglers können die Hochdruckkessel voll belastet und mit konstanter Leistung wirtschaftlich betrieben werden. Die anpassungsfähigen Niederdruckkessel liefern den Rest des Gesamtdampfverbrauches, gleichen also auch die Belastungsschwankungen aus. Diese Verbindung von Kesselhäusern mit verschiedenem Druck unterblieb bisher, da die handelsüblichen Reduzierventile, die mit unzulänglichen Mitteln arbeiten, als unzuverlässigster Bestandteil einer Dampfanlage gelten und nicht die Gewähr für ein sicheres Zusammenarbeiten der Kesselanlagen bieten.

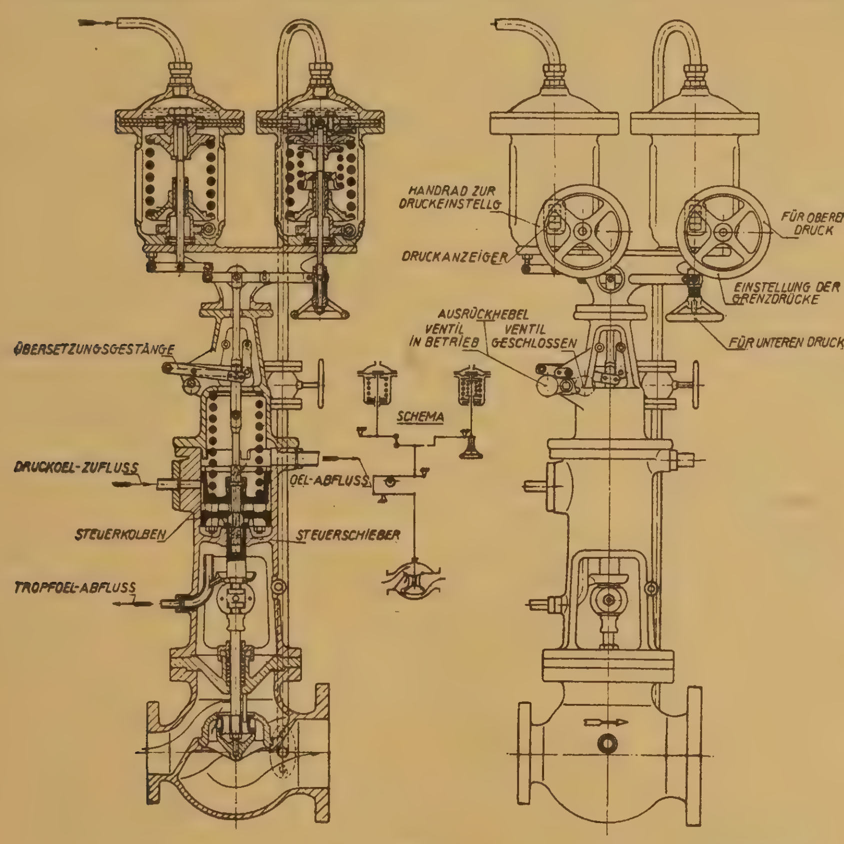


Bild 1
Gesteuerter Dampfdruckregler. TWL 7478

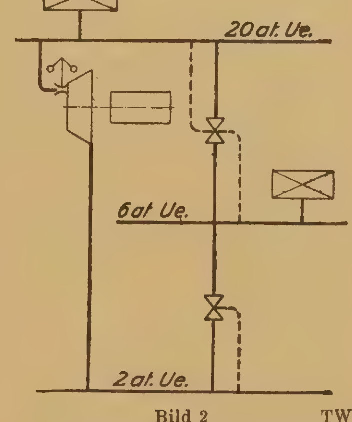


Bild 2 TWL 7479
Durch Dampfdruckregler zusammengeschlossene Kesselanlagen.

Die für Turbinensteuerungen entwickelten Regeleinrichtungen sind hingegen durch große Betriebssicherheit und Genauigkeit bekannt. Die AEG hat neuerdings unter Anwendung der Bestandteile der Turbinenregelungen, nämlich Druckölanlage, Membranregler und Servomotor, g e s t e u e r t e Dampfdruckregler ausgebildet (Bild 1), die ebenso genau und zuverlässig arbeiten wie eine Maschinensteuerung. Die Regler gestatten außerdem eine Betätigung durch verschiedene Drucke je nach den Betriebsverhältnissen, deren Wirkungsweise an einem Beispiel erläutert werden soll.

Zwei räumlich getrennte Kesselhäuser (Bild 2), das eine für Hochdruck, das andere für niedrigeren Druck, sollen gemeinsam die Dampfversorgung übernehmen. Dabei ist das wenig anpassungsfähige Hochdruckkesselhaus konstant zu belasten, während die Niederdruckkessel, die für die Hergabe schwankender Dampfmengen geeignet sind, den Belastungsausgleich schaffen sollen. Außer einer Gegendruckmaschine, die zwischen 20 und 2 at Ue arbeitet, seien Heizdampfnetze von 6 und 2 at Ue mit Dampf zu versorgen. Vor beide Heizdampfnetze werden Dampfdruckregler gelegt. Die beiden Ventile müssen bei erhöhtem Dampfbedarf in den Heizdampfnetzen den Mehrbedarf durch Drosselung aus dem höher gelegenen Drucknetz beschaffen. Das Ventil zwischen 20 und 6 at Ue wird außerdem vom Hochdruck gesteuert und zwar ähnlich wie ein Sicherheitsventil. Bei steigendem Druck öffnet sich das Ventil und gibt die überschüssige Dampfmenge an das 6 at Ue-Drucknetz ab, wodurch der Hochdruck konstant gehalten wird. In den Niederdruckkesseln wird nach dem Druck, der in gewohnter Weise schwanken kann, geheizt. Es treten aber Grenzfälle auf, bei denen besondere Maßnahmen notwendig werden, wenn nicht eine dauernde Verständigung zwischen den beiden Kesselhäusern erfolgen soll. Da der Druck im Hochdruckkesselhaus selbsttätig konstant gehalten wird, ist dort nicht erkennbar, was im Niederdruckkesselhaus geschieht. Wenn also bei sinkendem oder steigendem Dampfbedarf ein Zu- oder Abschalten von Niederdruckkesseln in bestimmten Fällen nicht beabsichtigt ist, könnten im Niederdrucknetz die Sicherheitsventile blasen, oder der Dampfdruck kann unzulässig absinken, ohne daß davon im Hochdruckkesselhaus etwas bemerkt wird. Um dies zu verhindern, kann ein zusätzlicher Regler am Ventil angeordnet werden, der, vom 6 at Ue-Drucknetz gesteuert, den Hochdruckregler außer Tätigkeit setzt, indem er bei unzulässig steigendem Niederdruck das Ventil schließt und bei zu tief sinkendem Druck das Ventil öffnet. Durch Anordnungen dieser und ähnlicher Art gewinnt man die Möglichkeit, unter schwierigen Bedingungen die Druckverhältnisse eines Werkes selbsttätig zu regeln, ohne daß eine Verständigung zwischen den einzelnen Betriebsabteilungen notwendig wird.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ABDAMPFAUSNUTZUNG ABGAS-AUSNUTZUNG

für Heizung und Trocknung

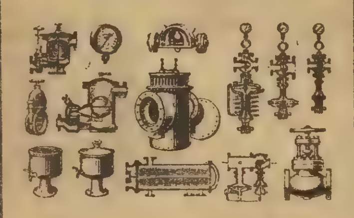
Auslandsvertreter gesucht!

Abwärme-Ausnutzung u. Saugzug G. m. b. H. „ABAS“, Berlin W 57.

ABSCHLAMMVENTILE

J. G. Merckens, A.-G.,
Apparatebau, Armaturenfabrik, Aachen-B., Bendstr. 2—8

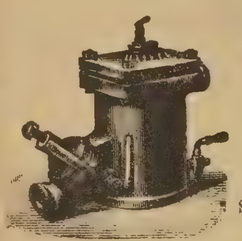
ARMATUREN



Bügler & Co., Hannover-V
Maschinen- und Armaturenfabrik.

ARMATUREN

für



Dampf
Gas
Wasser
liefert
als
Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83

München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme
Spez.:
Industrieaufzüge

Maschinenfabrik Erich Gimpel
Berlin SO 33
Telephon: Moritzplatz, 1442 u 7188
Lieferant staatl. u. städt. Behörden

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

Elektr. Aufzüge
mit Druckknopfsteuerung
Paternosteraufzüge
Selbsttätige Kippaufzüge für Kohlen- und Schlackenförderung

R. Stahl A.-G., Stuttgart

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN

die einfachsten!



Leipzig 1
Tröndlinring 1

B

BEHÄLTER

Lyra-Kompensatoren, Kessel, Kondensatormäntel, Rohrschlangen, Unterstützungen, Vorwärmer, Wasserabscheider,
Montagen im In- und Auslande durch

E. Otto Dietrich
Rohrleitungsbau-A.-G. Bitterfeld
Berlin-Wilmersdorf. Babelsbergerstr. 7
Eigenes Röhrenwerk.

BIEGSAME WELLEN

Maschinenfabrik
Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde, Steglitzer Str. 21d

BENZINLAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 155

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser

anzeigend, registrierend
zählend.

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.
Luft- und Gasmesser
Wassermesser
in Präzisionsausführung



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

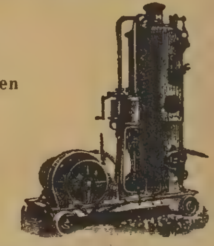
DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DAMPFWINDEN

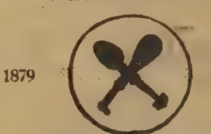
Dampf-
rammen



Christiansen & Meyer
Maschinen- und Dampfkesselfabrik
Eisengießerei
Harburg b. Hamburg

DIAMANTWERKZEUGE

Rohdiamanten

1879  1879

Joh. Urbanek & Co.,
nur Frankfurt am Main.

DIAMANTWERKZEUGE DIAMANTEN

seit  1847

Ernst Winter & Sohn, Hamburg SW 19



ELEKTRO-FLASCHENZÜGE

500 bis 5000 kg Tragkraft

Adolf Zaiser, Maschinenfabrik,
Stuttgart.

ENTÖLER

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.



FERN-THERMOMETER

für Temperaturen von —200 bis +700°
mit und ohne Registrierung



W. C. Heraeus, G. m. b. H., Hanau

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Kleine Kraftwerke in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft.

Unter den Antriebsmaschinen, die für kleinere Anlagen gewählt werden, haben sich in den letzten Jahren besonders Ölmaschinen gut eingeführt, und unter diesen wieder die sich durch geringe Herstellungskosten bei kräftiger, einfacher und betriebssicherer Bauart auszeichnenden Glühkopfmaschinen.

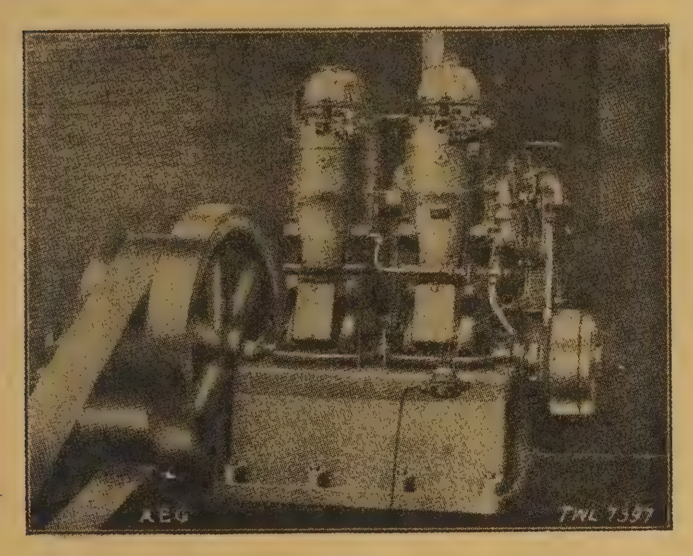


Bild 1
80 PS_e — AEG — Glühkopfmaschine

Diese führen ihren Namen nach der Art der Zündung des Brennstoffes, die bei mittleren Kompressionsdrücken durch Einspritzung des Treiböles in eine ungekühlte, dunkelglühende Haube des Zylinderkopfes erreicht wird; der Vergaser der Leichtölmaschine und die Zündkerze, der Luftkompressor des Dieselmotors und dessen hohe Kompressionsdrucke fallen weg. Zu den allgemeinen Vorteilen der Ölmaschinen gesellt sich bei Glühkopfmaschinen jener der Billigkeit, der leichten Bedienung und Instandhaltung.

Als Treiböl kommen in erster Linie die billigeren Schweröle, die als mittlere Destillate aus dem Erdöl und dem Braunkohlenteer gewonnen werden, in Betracht. Besonders die Öle aus letzterem gewinnen als Inlandprodukte für Deutschland immer mehr an Bedeutung.

Gegenüber den Leichtölmotoren, deren Betriebsstoffe, wie Benzin, Benzol u. a., als feuergefährlich gelten, bietet der Glühkopfmotor den weiteren Vorteil, daß er zu seiner Aufstellung in bewohnten Gebäuden einer polizeilichen Konzession nicht bedarf und auch die bei der Lagerung des Treiböls vorgeschriebenen Bedingungen leicht zu erfüllen sind. Hierdurch wird ihm die gesamte Heimindustrie und die Versorgung privater Gebäude, wie z. B. Hotels und Banken, mit elektrischer Energie erschlossen. Größere Motoren, bis zu der Grenze, von der ab der Dieselmotor am Platze ist, also etwa bis 120 PS_e, finden in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft ausgebreitete Verwendung zu den verschiedensten Zwecken.

Die von der AEG gebaute Glühkopfmaschine (Bild 1) ist eine Zweitaktmaschine, deren luftdicht geschlossener Kurbelkasten als Spülpumpe ausgebildet ist. Der Eintritt der Spülluft und der Austritt der Verbrennungsgase in bzw. aus dem Zylinder erfolgt durch Schlitze, die vom Arbeitskolben selbst gesteuert werden. Es entfallen alle Ventile und deren Gestänge, die den übrigen Verbrennungskraftmaschinen nicht nur ein kompliziertes Äußeres verleihen, sondern auch eine sorgfältige, sachgemäße Wartung erfordern. Das einzige gesteuerte Organ, die Brennstoffpumpe ist ebenso wie das Brennstoffeinspritzventil von einfachster Ausführung, nämlich ein eingeschliffener Kolben ohne Stopfbüchse bzw. ein kalibriertes Loch mit Drallkörper und Rückschlagventil. Die Brennstoffpumpe wird unmittelbar vom Regulator den verschiedenen Belastungen entsprechend beeinflußt. Die Schmierung aller beweglichen Teile erfolgt selbsttätig.

Dies ergibt eine Maschine, die in Bezug auf Robustheit, Einfachheit der Behandlung im Betrieb und der Instandhaltung, kaum zu überbieten ist. Die Anforderungen an die Intelligenz und Schulung des Bedienungsmannes sind daher gering. Die Maschine nimmt ihn nur während eines kleinen Teiles der Betriebszeit in Anspruch. Seine Tätigkeit nach der Inbetriebsetzung beschränkt sich auf die Kontrolle der Füllung des Brennstoff- und Schmierölbehälters und der Beobachtung des Auspuffes. Er kann daher auch anderweitig beschäftigt und die Beaufsichtigung der Glühkopfmaschine als Nebenbeschäftigung betrachtet werden.

Glühkopfmaschinen werden im allgemeinen nur mit mittleren Umlaufzahlen von 600 bis 300 Uml./min betrieben. Es ist daher weniger vorteilhaft, sie mit Arbeitsmaschinen, die normalerweise mit hohen Drehzahlen laufen, wie Zentrifugalpumpen, Generatoren und drgl. direkt zu kuppeln; der Antrieb mit Riemen über eine Transmission oder unmittelbar von Riemenscheibe zu Riemenscheibe wird meistens vorzuziehen sein.

Unter den Vorzügen der Verbrennungskraftmaschinen gegenüber Dampfkraftanlagen spielt neben der steten Betriebsbereitschaft die Ersparnis an Treiböl durch den Fortfall des Brennstoffverbrauches beim Anheizen, Abbrennen und bei Stillstand eine ausschlaggebende Rolle, die besonders bei kleineren Motoren von Bedeutung ist. Höltje (Z. d. V. d. I. 1909 S. 784) hat in praktischen Untersuchungen festgestellt, daß der auf eine bestimmte durchschnittliche Belastung im Betrieb sich ergebende Treibölverbrauch der Ölmaschinen nur um ca. 14 % höher liegt, als der entsprechende bei konstanter Belastung im Prüffeld gemessene Garantiewert, während er diesen „Betriebszuschlag" z. B. bei Dampflokomobilen zu 95 % ermittelte.

Als Beispiel der Betriebskosten einer Glühkopfmaschinenanlage sind in Bild 2 unter den angeführten Annahmen die Kosten der Pferdekraftstunde des oben abgebildeten 80 PS-Motors für verschiedene Belastungen und Treibölpreise (die mit der Entfernung von der Erzeugungs- und

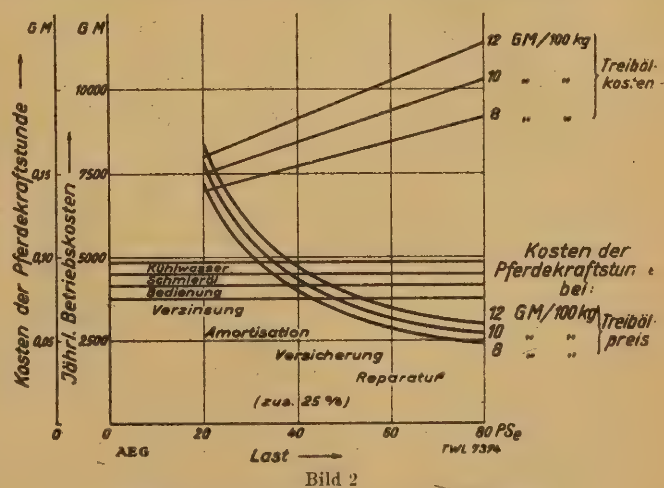


Bild 2
Betriebskosten einer 80 PS_e — Glühkopfmaschine
(bei 300×8 Betriebsstunden im Jahr)

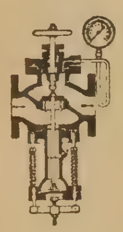
Lagerstelle zunehmen) auf Grund der heutigen Verhältnisse ausgerechnet, wobei der Betriebszuschlag bereits berücksichtigt ist. Es handelt sich also um Betriebskosten, wie sie im praktischen Betrieb bei guter Wartung tatsächlich erzielt werden.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ARMATUREN

für



Dampf, Gas, Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin.

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83

München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

AUFZÜGE



Maschinenfabrik
Mühleissen m. b. H.
Elberfeld

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-

AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BENZIN-LAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BÜRSTEN

für die gesamte Industrie zu Maschinen- oder Reinigungszwecken nach Angabe und Zeichnung

Joseph Pötz, Neuwied.

KREUSER-

DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk; mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 155

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser

anzeigend, zählend, registrierend

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

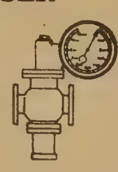
DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

mit automatischer Druckberücksichtigung D. R. P.
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für Kesselhäuser u. dergl.



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DIAMANT-WERKZEUGE



für alle Zwecke
Diamantwerkzeugfabrik „Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o,
Belle-Alliance-Straße 82

DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9 a.



EISENFÄSSER

Wilhelm Harms, Hamburg 11

ELEKTRISCHE HANDBOHRMASCHINEN

Tischbohrmaschinen
Schleifmaschinen

Arthur Senftleben
Berlin N 113

ELEKTRO-FLASCHEN-ZÜGE

Seilzüge für größere Hubhöhen, „Schlangenzüge" für kleineren Hub oder genaueste Arbeiten.

R. Stahl A.-G.
Aufzugfabrik
Stuttgart

ENTÖLER

F. Mattick, Dresden 24 c
Münchener Str. 30
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTÖLER

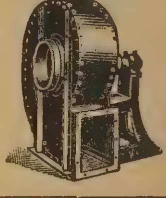
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.

EX-HAUSTORE



Ventilatore
Luftbefeuchtung,
Luftheizung,
Trocknung

Friedr. Haas,
Lennep (Rhld.)

FEDERN

Zug- und Druckfedern in allen Stärken u. für alle technischen Zwecke

C. M. Pieper & Co.
Drahtweberei und Federnfabrik
Gegründet 1825
Hohenlimburg

FILZE

für technische Zwecke

Carl Günther & Co.,
Filzwarenfabrik,
Berlin NO 43, Neue Königstr. 71

FILZE

für alle technischen Zwecke, spez. Schleif- und Polierfilze, Dichtungsfilze, Unterlagfilze. Filzformstücken jeder Art.

Steinhäuser & Kopp
Filzfabrik
Offenbach am Main

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

LHL (Linke-Hofmann-Lauchhammer)-Mitteilungen

Präzisions-Fahrtregler für Dampf-Fördermaschinen.

Die Notwendigkeit einer Sicherheitsvorrichtung für Fördermaschinen ist bedingt durch das Steuern dieser Maschinen von Hand, denn selbst der geschickteste Maschinist bietet keine Gewähr für die Verhütung eines Unglücksfalles, geschweige denn für einen sparsamen Betrieb.

Der Zweck einer Sicherheitsvorrichtung war ursprünglich, das Stauchen und das Zuhochfahren der Förderkörbe unmöglich zu machen und dadurch Verluste an Menschenleben, Material usw. zu verhüten. Man versuchte dieses durch die sogenannten auslösenden Apparate (Römer, Baumann usw.) zu erreichen, die aber durch ihre ruckartige Wirkung in Gefahrfällen die Maschinenanlage und die fahrende Mannschaft außerordentlich gefährdeten. Dementsprechend mußte bei einem tüchtigen Maschinenwärter das Eingreifen dieser Apparate zu den Seltenheiten gehören. Die moderne Sicherheitsvorrichtung „System LHL Jversen“ verbindet nun durch ihre den Maschinengang regelnde Wirkungsweise den ursprünglichen Sicherheitszweck mit beträchtlichen wirtschaftlichen Vorteilen: sie steuert die Maschine während jeder Fahrt selbsttätig so gut, wie es selbst dem tüchtigsten Wärter, sei es auch nur für kurze Zeit, nicht möglich ist, und vermindert dadurch den Dampfverbrauch derart, daß durch die großen Dampfersparnisse die Anschaffungskosten für den Präzisions-Fahrtregler in kürzester Zeit gedeckt werden.

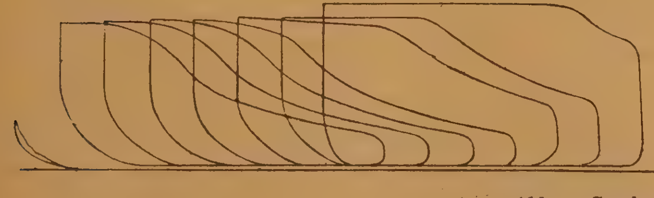


Abb. 1.

In Abb. 1 ist ein solcher Präzisions-Fahrtregler dargestellt. — Die Regelung erfolgt bei diesem Apparat nicht durch Fliehkraftregler, welche sich als nicht zuverlässig erwiesen haben, sondern durch einen hydraulischen Geschwindigkeitsregler, welcher durch Drucköl bewegt wird. Das Öl wird durch eine vom Apparat getrennt aufgestellte, ventillose Rundlaufpumpe, welche gewöhnlich von der Steuerwelle der Fördermaschine angetrieben wird, in einem Kreislauf gefördert, wobei der mit der Fördergeschwindigkeit wechselnde Öldruck für die Regelungszwecke ausgenutzt wird. Dieses sogenannte „hydraulische Regelungssystem“ hat sich seit Jahren dauernd gut bewährt und nie versagt und gilt als das einzige System, welches für Fördermaschinen geeignet ist und wirklich zuverlässig arbeitet. Hierbei ist das Ergebnis langjähriger Beobachtungen besonders hervorzuheben, daß Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit des Reglers durch Temperaturschwankungen, Ölverluste, Verschmutzen des Öles, Lufteinmischung und dergl. bei dieser Bauart vollständig ausgeschlossen sind.

Zwischen dem Geschwindigkeitsregler und den Kraftorganen (Steuerung der Maschine und Bremse) ist ein mittels Dampfdruck betätigter Servomotor eingeschaltet. Der Geschwindigkeitsregler hat nur den kleinen, entlasteten Steuerschieber des Servomotors zu verstellen, dessen Dampfkolben wiederum die Steuerung der Maschine und die Bremse betätigt. Durch die Anordnung (D.R.P.) ist stets die gleich große Kraft zur Betätigung der Kraftorgane vorhanden, was besonders an der Hängebank sehr wichtig ist, wo Fliehkraftregler infolge der kleinen Geschwindigkeit nur sehr geringe Verstellkraft haben und daher oft versagen. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird durch einen Drosselschieber bestimmt, welcher beim Auslauf der Maschine noch durch besondere Retardierkurven betätigt wird.

Der Präzisions-Fahrtregler überwacht und ergänzt die Tätigkeit des Wärters, verhindert an der Hängebank das verkehrte Auslegen des Steuerhebels, regelt während der Fahrt den Dampfverbrauch und die Geschwindigkeit zunächst durch Verstellen des Steuerhebels entsprechend dem Kraftverbrauch bis zur Gegendampfstellung, und dann in schweren Fällen durch Anziehen der regelbaren Bremse. Als Sicherheitsapparat ist es seine Aufgabe, wenn der Wärter versagen sollte, die Maschine bei jeder Belastung nach vorgeschriebenem Geschwindigkeitsdiagramm selbsttätig bis zum stoßfreien Anhalten an der Hängebank zu fahren. Die Wirkungsweise des Fahrtreglers ist aus dem in Abb. 2 dargestellten Diagramm zu ersehen. Der Apparat ist ferner mit einer Repetier-Endauslösung versehen, welche beim Überfahren der Hängebank die Bremse mit Vollkraft aufwirft.



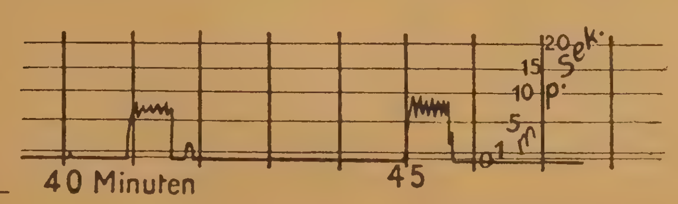


Abb. 2. Geschwindigkeitsdiagramme

Der Apparat wird in Serien von größerer Anzahl in Präzisionsausführung gebaut und zwar in nur einer Type, die jedoch den Betriebsverhältnissen jeder Fördermaschine entsprechend eingestellt werden kann, so daß stets die größte Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

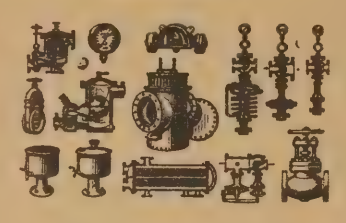
Der Präzisions-Fahrtregler kann auch an alten Fördermaschinen eingebaut werden mit den gleichen vorerwähnten Vorteilen.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ABDAMPFAUSNUTZUNG
Abdampf-Lufterhitzer
Abgas-Saugzug-Anlagen
Abgas-Economiser
Abgas-Lufterhitzer
Auslandsvertreter gesucht!
Abwärme-Ausnutzung u. Saugzug G. m. b. H. „ABAS“, Berlin W 57.

ARMATUREN



Bügler & Co., Hannover-V
Maschinen- und Armaturenfabrik.

ARMATUREN



für Dampf Gas Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN
Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN
zum Befestigen der Flanschen auf Rohre
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE
für Personen und Lasten,
spez. Druckknopfsteuerung
Paternoster-Aufzüge
Adolf Zaiser, Maschinenfabrik,
Stuttgart.

AUFZÜGE
sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge
Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE
sämtlicher Systeme
Spez.:
Industrieaufzüge
Maschinenfabrik Erich Gimpel
Berlin SO 33
Telephon: Moritzplatz, 1442 u 7188
Lieferant. staatl. u. städt. Behörden

AUFZÜGE, KRANE
Paternosteraufzüge
Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE
Elektr. Aufzüge
mit Druckknopfsteuerung
Paternosteraufzüge
Selbsttätige Kippaufzüge für Kohlen- und Schlackenförderung
R. Stahl A.-G., Stuttgart

AUFZÜGE
in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe
Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN
die einfachsten!



Leipzig 1
Tröndlinring 1

BENZIN-LAGERUNGEN
höchster Vollendung
Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BIEGSAME WELLEN
Maschinenfabrik
Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde SteglitzerStr. 21d

KREUSER-
DAMPFHÄMMER
D. R. P.
mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.
Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)
Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER
mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.
Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER
Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.
Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 155

DAMPFMESSER
Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, registrierend zählend.
Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER
Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke
Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER
mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.
Luft- und Gasmesser
Wassermesser
in Präzisionsausführung
Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz



DIAMANTWERKZEUGE DIAMANTEN




seit 1847

Ernst Winter & Sohn, Hamburg SW 19

DIESELMOTOR
Dichtungsmaterial
„Vulcabeston“-Ringe
fabriziert seit 25 Jahren als Spezialität
Markus M. Bach,
Berlin W 15, Fabrikhof

DIESELMOTORE
und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.
Hans G. Nissen, Berlin SW 68



EISENBETON-INDUSTRIE-BAUTEN
Peretti & Funck, A.-G., Magdeburg
Lübecker Straße 33

EISENFÄSSER
Wilhelm Harms, Hamburg 11

ENTÖLER
F. Mattick, Dresden 24c
Münchener Str. 30
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTÖLER
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.



FLANSCHEN
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

FLASCHENZÜGE
G. F. Martin, G. m. b. H.,
Hannover-Linden 47.



GEWINDEBOHRER UND -SCHNEIDZEUGE Marke F.D.
Paul F. Dick, Esslingen a. N.
Stahlwaren- und Werkzeugfabrik.

GRAUGIESSEREI
Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Antrieb von Zentrifugen durch Drehstrom-Kurzschlußmotore.

Für Zentrifugen ist der Drehstrommotor der geeignetste Antrieb. Wenn auch bei Verwendung von Gleichstrommotoren eine Rückgewinnung von etwa 15 bis 18 % der aufgewendeten Energie möglich ist, so ist er doch infolge seiner größeren Empfindlichkeit dem Drehstrommotor unterlegen. Während der Campagne ist die Aufrechterhaltung eines ununterbrochenen Betriebes die erste Forderung; ein Versagen des Zentrifugenantriebes ist aber geeignet, die ganze Fabrik mit hunderten von Arbeitern stillzusetzen. Daraus geht hervor, daß der Zentrifugenmotor gar nicht einfach und robust genug sein kann, zumal vielfach nur ungelernte Arbeiter zur Verfügung stehen. Diese Bedingung wird aber in hervorragendem Maße vom direkt gekuppelten Drehstrommotor und speziell vom Kurzschlußanker-Motor erfüllt.

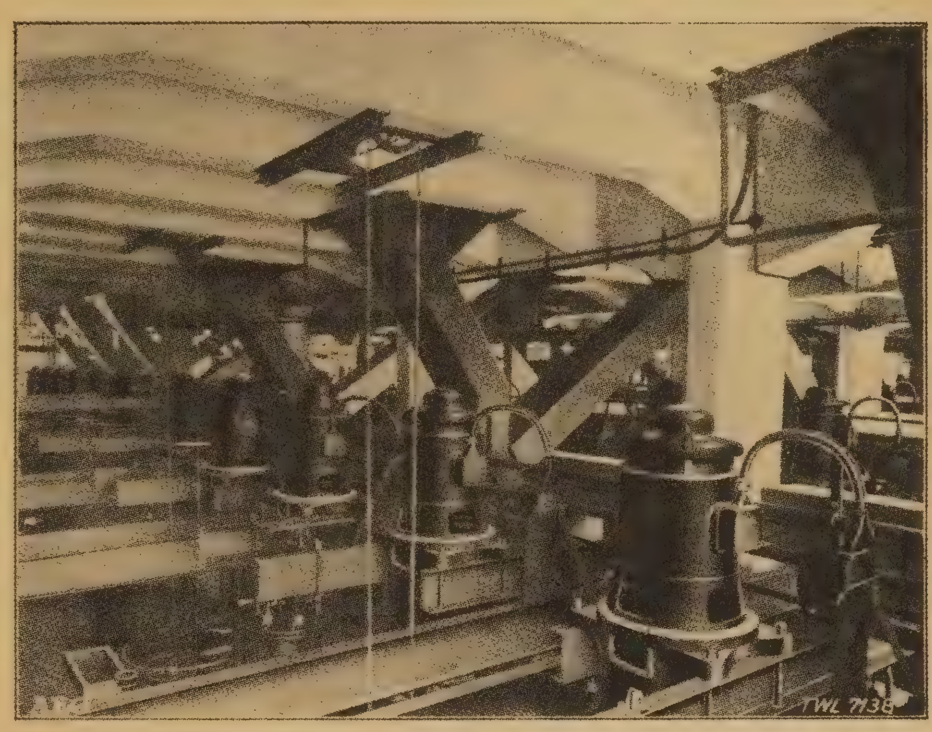


Bild 1. Zentrifugenstationen der Zuckerraffinerie Tangermünde von Fr. Meyers Sohn .-G. A
(Für diese Anlage wurden 100 Kurzschlußmotoren im Jahre 1922 geliefert.)

Die Einwendungen, die gegen den Drehstrom-Kurzschlußmotor erhoben worden sind, betreffen in der Hauptsache seine hohe Stromaufnahme bei Anlauf. Durch Verwendung einer geeigneten Zentrifugal-Riemenkupplung, der sogenannten Rutschkupplung, ist es nun gelungen, die Stromaufnahme zeitlich so zu begrenzen, daß sie praktisch als beseitigt angesehen werden kann. Der Motor läuft hierbei leer an und erreicht infolgedessen innerhalb von 1 bis 2 Sekunden fast seine volle Umdrehungszahl. Die Kupplung wirkt in der Weise, daß Leder- bzw. Kamelhaarriemen an Flügeln, die gleichzeitig zur Ventilation dienen, so angebracht sind, daß ihre freien Enden mit der Motorwelle rotieren können. Bei der Rotation legen sie sich gegen die Innenflächen der zweiten Kupplungshälfte, die auf der Zentrifugenwelle sitzt. Der Zentrifugaldruck der Riemen wird also mit höherer Geschwindigkeit wachsen, bis er schließlich ausreichend ist, um die Zentrifuge mitzunehmen. Durch entsprechende Riemenabmessungen bzw. durch Beschwerung der Riemen hat man es vollständig in der Hand, die Drehzahl, bei der die Zentrifuge mitgenommen werden soll, einzustellen.

Der Riemenverschleiß ist nach Angabe der verschiedensten Firmen nur gering. Vielfach ist man auch dazu übergegangen, statt der Lederriemen Holzklötze unter prinzipieller Beibehaltung der Zentrifugalwirkung der rotierenden Teile zu verwenden. Der Nachteil einer solchen Kupplung gegenüber der Zentrifugal-Riemen-Kupplung ist nur der, daß eine so weitgehende Regulierung der Drehzahl, bei der die Zentrifuge mitgenommen werden soll, nicht möglich ist. Die Auswechselung der Klötze, sowie der Riemen, kann bei entsprechender Durchbildung des Motorfußes in der einfachsten Weise erfolgen, ohne ein Abheben des Motors nötig zu machen.

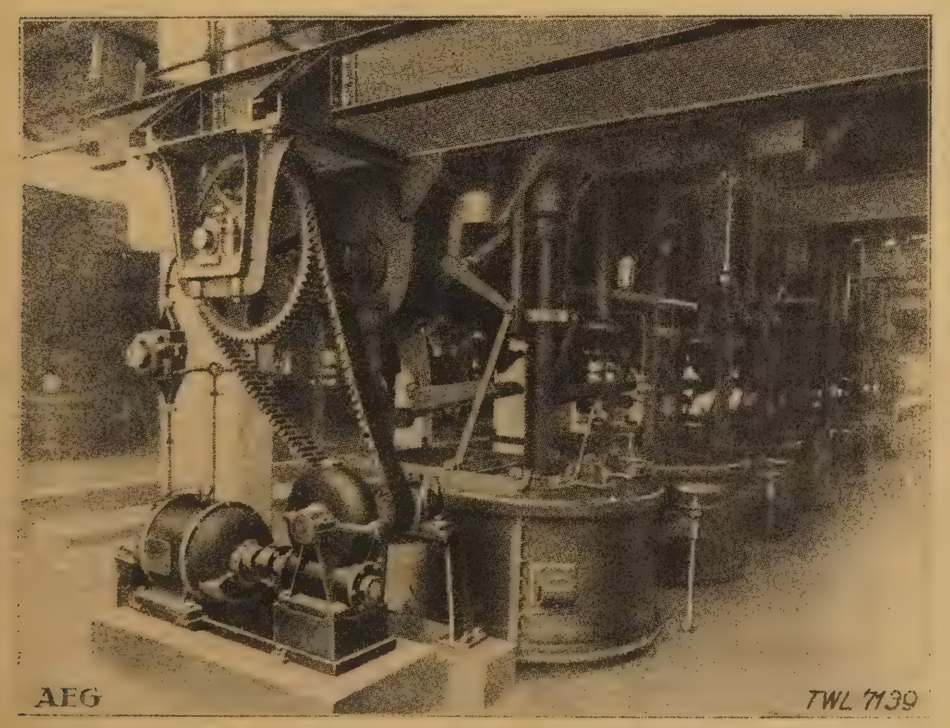


Bild 2. Zentrifugen zu den in Bild 1 dargestellten Motoren.

Der Motor wird bei einer richtig eingestellten Zentrifugalkupplung bedeutend günstiger belastet. Damit ist die Wahl einer kleineren Motortype möglich, die eine bessere Ausnutzung des Motors gestattet; hierdurch wird der Leistungsfaktor der gesamten Anlage nicht unwesentlich gehoben.

Bild 1 und 2 zeigen die Zentrifugenstationen der Zuckerraffinerie Tangermünde von Fr. Meyers Sohn A.-G., die von der AEG im Jahre 1922 neu eingerichtet worden ist, nachdem die alte durch Brand zerstört worden war. Die Zentrifugen werden durch Drehstrom-Kurzschlußmotoren angetrieben und sind direkt durch die oben beschriebenen Zentrifugal-Riemenkupplungen gekuppelt.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

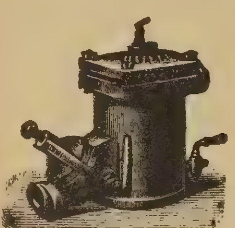


ABSCHLAMM-VENTILE

J. G. Merckens, A.-G.,
Apparatebau, Armaturenfabrik,
Aachen-B., Bendstr. 2—8.

ARMATUREN

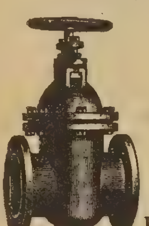
für



Dampf
Gas
Wasser
liefert
als
Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN



in Eisen mit Metalldichtung
Schieber
Ventile,
Hähne

Eisenwerk Heinrich Schilling
Eisengießerei und Armaturenfabrik
Kracks VI b. Bielefeld

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83

München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

AUFZÜGE



Maschinenfabrik
Mühleissen m. b. H.
Elberfeld

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BEHÄLTER

Lyra-Kompensatoren, Kessel, Kondensatormäntel, Rohrschlangen, Unterstützungen, Vorwärmer, Wasserabscheider, Montagen im In- und Auslande durch

E. Otto Dietrich
Rohrleitungsbau-A.-G. Bitterfeld
Berlin-Wilmersdorf. Babelsbergerstr. 7
Eigenes Röhrenwerk.

BRUNNENBAU

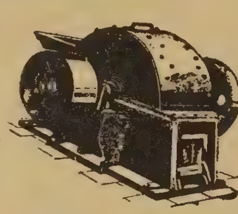
(Rohrfilterbrunnen)
Reuther Tiefbau G. m. b. H.
Mannheim-Waldhof 7

BENZINLAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BRECHER „ZICK-ZACK"



Hammermühlen.
Wichtige Neuerungen.

Friedrich Haas
Lennep (Rhld.)

BÜRSTEN

für die gesamte Industrie zu Maschinen- oder Reinigungszwecken nach Angabe und Zeichnung

Joseph Pötz, Neuwied.

D

KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser
G. m. b. H.,
Hamm (Westf.)
Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gebre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 156

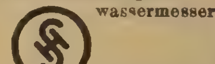
DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser. Speisewassermesser



anzeigend, zählend, registrierend

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

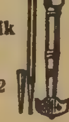


mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für Kesselhäuser u. dergl.

Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz



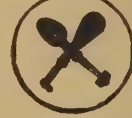
DIAMANT-WERKZEUGE



für alle Zwecke
Diamantwerkzeugfabrik „Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o,
Belle-Alliance-Straße 82

DIAMANTWERKZEUGE

Rohdiamanten



1879 1879

Joh. Urbanek & Co.,
nur Frankfurt am Main.

DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9 a.

DRAHTSEILE

für jeden Industriezweig liefern



Drahtseilwerke
Hermann Kleinholz
G. m. b. H.
Oberhausen (Rhld.)
1824

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Elektrische Hüttenwerkslokomotiven.

Die vor einigen Jahren auf den Hüttenwerken einsetzenden Bestrebungen, die Wirtschaftlichkeit besonders in wärmetechnischer Hinsicht zu verbessern, veranlaßten die Werke, auch der bisher bei der Elektrisierung fast ganz vernachlässigten Förderung auf den Hüttenwerksgleisen größere Beachtung zu schenken. Die Berechnung ergab, daß durch Einführung des elektrischen Betriebes wesentliche Ersparnisse zu erzielen seien. Diese umfassen in der Hauptsache die folgenden drei Posten:

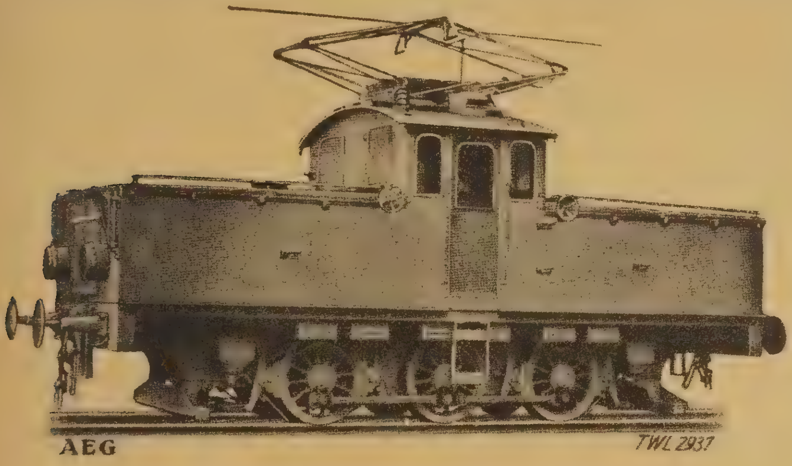


Bild 1. Dreiachsige Regelspurlokomotive für gemischten Betrieb.

1) Kohle und Schmiermittel. Statt der teuren Steinkohle, von der noch ein großer Teil verloren geht oder sonstwie abhanden kommt, wird der sehr billige Strom der eigenen Gaskraftwerke verwendet. Der Verbrauch an Schmiermitteln ist bei den neuzeitlichen elektrischen, mit Rollenlagern ausgerüsteten Lokomotiven verschwindend gering.
2) Unterhaltung. Die Unterhaltung der elektrischen Lokomotive beschränkt sich im allgemeinen auf das Nachsehen bzw. Auswechseln der Lager, Fahrschalterfinger und ähnlicher Teile. Diese Arbeiten erfordern nur wenig Zeit und Löhne und entziehen die Lokomotiven nur für wenige Stunden dem Betriebe.
3) Löhne. Die elektrische Lokomotive ist nur mit einem Mann besetzt, so daß gegenüber der Dampflokomotive die Hälfte der Lohnkosten gespart wird.

Die Ersparnisse stellten sich im Betriebe noch wesentlich günstiger, als die Rechnung ergeben hatte; so wurden z. B. auf einem der größten Werke etwa 70% Ersparnis gegenüber dem Dampfbetrieb festgestellt.

Zum Betriebe der regelspurigen Hüttenwerksbahnen wird allgemein Gleichstrom von 600 V verwendet. Die Wahl von Gleichstrom ergab sich einmal aus den Erfahrungen auf anderen Werksbahnen und zum anderen aus der Notwendigkeit, einen Teil der Lokomotiven mit einer Akkumulatorenbatterie auszurüsten, weil die Oberleitung nicht überall gespannt werden kann. Die Spannung von 600 V wurde gewählt, da sich bei dieser noch eine ausreichende und bequem aus der Oberleitung zu ladende Batterie einbauen läßt.

Die Lokomotiven werden je nach ihrem Verwendungszweck und der geforderten Leistung mit 2, 3 oder 4 Achsen ausgeführt. Am meisten Verbreitung haben bisher die zweiachsigen Lokomotiven mit einem Gewicht von 36 t und einer Motorleistung von 220 PS gefunden. Ist die von der Lokomotive mit der Batterie zu leistende Arbeit nur gering, so können diese Lokomotiven auch mit einer den Motoren entsprechenden Batterie ausgerüstet werden. Bei größeren Ansprüchen an die Batterie wird diese jedoch so groß, daß sie in der zweiachsigen Lokomotive nicht mehr untergebracht werden kann. Man wählt deshalb die in Bild 1 dargestellte Bauart, die ebenfalls in einer größeren Zahl ausgeführt wurde. Diese Lokomotive hat dieselbe Motorausrüstung wie die zweiachsige Lokomotive, aber in Rücksicht auf die größere Batterie noch eine dritte Laufachse. Um das ganze Gewicht von etwa 42 t für die Reibung nutzbar zu machen, sind die drei Achsen miteinander gekuppelt. Wo Leistung und Gewicht auch dieser Lokomotive nicht genügen, kommen vierachsige Drehgestellokomotiven nach Bild 2 zur Verwendung. Bei diesen Lokomotiven wird jede Achse durch einen Motor angetrieben. Die Lokomotive hat also 4 Motoren mit zusammen 440 oder bei Verwendung stärkerer Motoren bis zu 700 PS Leistung. Das Gewicht beträgt etwa 72 t.

Da die Fahrdrahtspannung je nach dem Stande der Lokomotive und der Belastung des Netzes durch andere Lokomotiven schwankt, sind besondere Vorkehrungen zu treffen, um die für die Batterie nötige Spannung herzustellen. Bisher fast durchweg angewandt ist die Regelung der Spannung durch Vorschaltwiderstände. Die AEG benutzt hierbei die Anfahrwiderstände, unter Umständen in Verbindung mit besonderen Zusatzwiderständen. Die Regelung, das heißt das Ab- und Zuschalten von Widerstand, erfolgt entweder mit dem Fahrschalter oder durch einen besonderen Hilfsschalter. Die beim Laden nötigen Handgriffe sind so einfach, daß der Führer jede Betriebspause der Lokomotive zum Laden benutzen kann. So ist es möglich, dauernd mit reichlich geladener Batterie zu fahren, ohne überhaupt die Lokomotive zum Laden aus dem Dienst ziehen zu müssen.

Sollten in einem Ausnahmefall die Stromkosten eine entscheidende Rolle spielen, so kann man zur Vermeidung der in den Widerständen auftretenden Verluste eine andere Art der Spannungsregelung wählen, die darin besteht, daß man der Batterie einen kleinen Motorgenerator vorschaltet, dessen Motor die überschüssige Spannung aufnimmt. Motor und Generator lassen sich so regeln, daß die Batterie stets die erforderliche Spannung erhält.

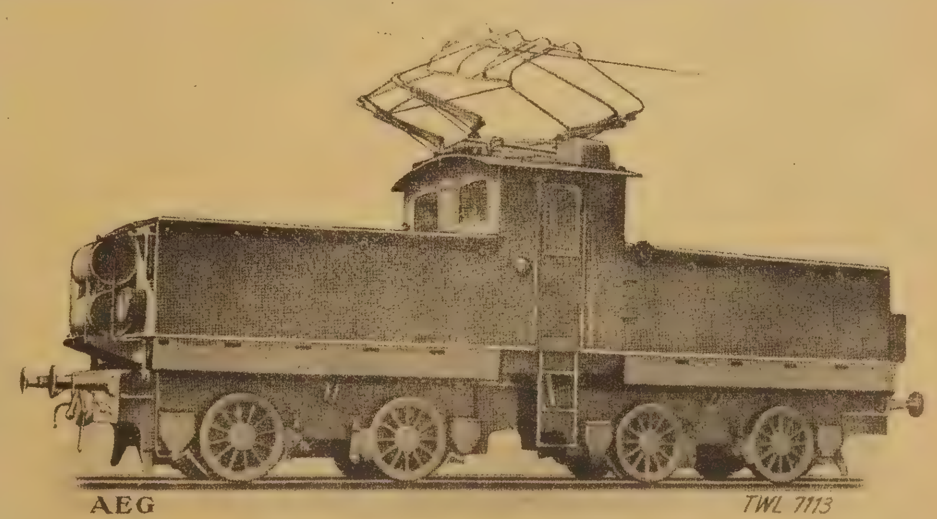


Bild 2. Vierachsige Drehgestellokomotive für gemischten Betrieb.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



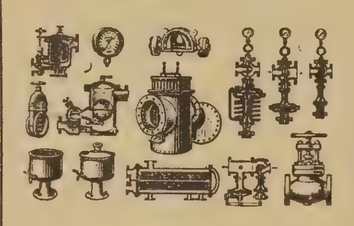
ABDAMPFAUSNUTZUNG ABGAS-AUSNUTZUNG

für Heizung und Trocknung

Auslandsvertreter gesucht!

Abwärme-Ausnutzung u. Saugzug G. m. b. H. „ABAS", Berlin W 57.

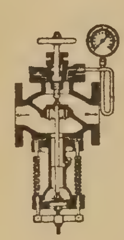
ARMATUREN



Bügler & Co., Hannover-V
Maschinen- und Armaturenfabrik.

ARMATUREN

für



Dampf, Gas, Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin.

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme
Spez.:
Industrieaufzüge

Maschinenfabrik Erich Gimpel
Berlin SO 33
Telephon: Moritzplatz, 1442 u. 7188
Lieferant staatl. u. städt. Behörden

AUFZÜGE

Elektr. Aufzüge
mit Druckknopfsteuerung
Paternosteraufzüge
Selbsttätige Kippaufzüge für Kohlen- und Schlackenförderung

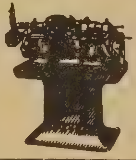
R. Stahl A.-G., Stuttgart

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BIEGSAME WELLEN

Maschinenfabrik
Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde Steglitzer Str. 21d

BRUNNENBAU

(Rohrfilterbrunnen)
Reuther Tiefbau G. m. b. H.
Mannheim-Waldhof 7



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)
Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Belastungsmesser in verschied. Ausführungen, Luftmengenmesser, Manometer, Wassermesser, Thermometer

J. C. Eckardt A.-G.
Stuttgart-Cannstatt

DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 155

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, registrierend zählend.

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

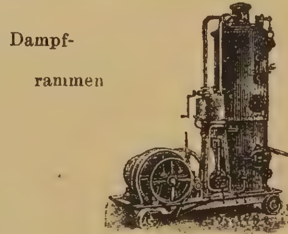
mit automatischer Druckberücksichtigung D. R. P.
Luft- und Gasmesser
Wassermesser
in Präzisionsausführung



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DAMPFWINDEN

Dampf-
rammen



Christiansen & Meyer
Maschinen- und Dampfkesselfabrik
Eisengießerei
Harburg b. Hamburg

DIAMANTWERKZEUGE DIAMANTEN

seit 1847



Ernst Winter & Sohn, Hamburg SW 19

DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DRAHTSEILE

für jeden Industriezweig liefern

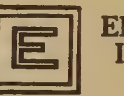


Drahtseilwerke Hermann Kleinholz
G. m. b. H.
Oberhausen (Rhld.)
1824—1924

DREHBÄNKE

BOHRMASCHINEN, KALTSÄGEN, PARALLELSCHRAUBSTÖCKE

C. Kenter & Co.
Charlottenburg, Kaiserdamm 89
Telegr.: Kentereisen Berlin * Telef.: Westend 784



EISENBETON-INDUSTRIE-BAUTEN

Peretti & Funck, A.-G., Magdeburg
Lübecker Straße 33

EISENFÄSSER

Wilhelm Harms, Hamburg 11

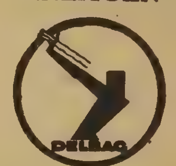
ENTÖLER

F. Mattick, Dresden 24c
Münchener Str. 30
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTÖLER

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

ENTSTAUBUNGS-ANLAGEN



Delbag Entstaubung G. m. b. H.
Berlin W 66.



FERN-THERMOMETER

für Temperaturen von —200 bis +700°
mit und ohne Registrierung



W. C. Heraeus, G. m. b. H., Hanau

FLANSCHEN

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

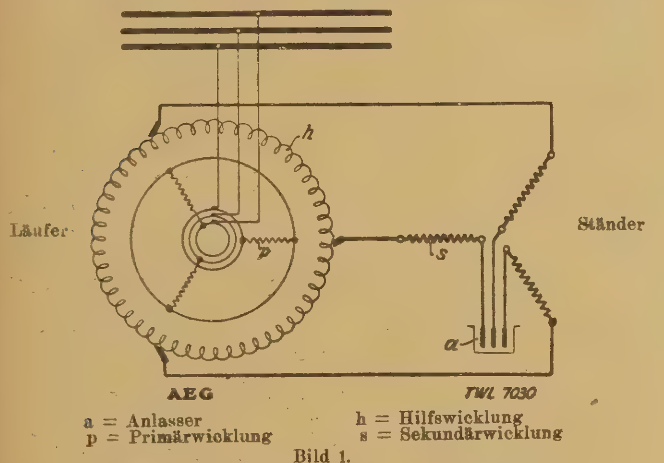
Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Der Motor ohne Blindverbrauch.

Das Streben der Elektrizitätswerke nach einem günstigen Leistungsfaktor und die aus diesem Grunde in die Lieferungsbedingungen aufgenommenen Bestimmungen zwingen den Abnehmer heute, dafür zu sorgen, daß der Leistungsfaktor in seiner Anlage nicht unter einen gewissen Mindestbetrag sinkt. Die hierfür früher angewandten Methoden waren, wie sich zeigte, nicht immer wirtschaftlich, und so griff man auf die bereits im Jahre 1902 veröffentlichten Konstruktionen von Osnos, Heyland usw. zurück, um diese für die Praxis brauchbar zu machen. Die Hauptschwierigkeiten ergaben sich hier bei dem Bestreben, auch für mittlere Leistungen noch eine einwandfreie Kommutierung zu erhalten, die sich bei diesen Motoren als notwendig erweist. Der AEG gelang es, durch eine außerordentlich geschickte Anordnung der Hilfswicklung die Kommutierungsspannung soweit herabzudrücken, daß ein einwandfreies Arbeiten des Motors bis zu Leistungen von 100 bis 200 kW, je nach der Umdrehungszahl, möglich ist. Die erwähnte Anordnung wurde von der AEG bereits im Januar 1923 zum Patent angemeldet.

Bei dem von der AEG gebauten Motor befindet sich, wie aus Bild 1 hervorgeht, die Primärwicklung im Läufer,



a = Anlasser h = Hilfswicklung
p = Primärwicklung s = Sekundärwicklung

Bild 1.
Schaltbild des „Asynchronmotors ohne Blindverbrauch".

während die Sekundärwicklung im Ständer untergebracht ist. Außerdem enthält der Läufer eine kleine, mit dem bereits erwähnten Kommutator verbundene Hilfswicklung ähnlich einer Gleichstromwicklung. Auf dem Kommutator gleiten 3 Bürsten je Polpaar, die mit der sekundären Ständerwicklung verbunden sind.

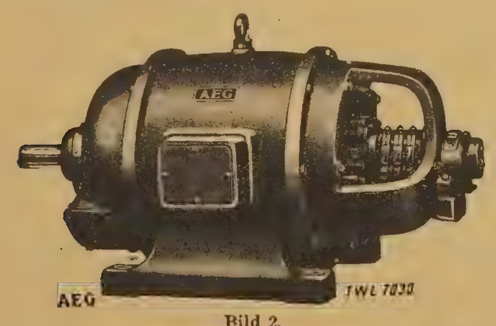


Bild 2.
Motor ohne Blindverbrauch von 20 kW, 1500 Umdr.

Die Stromanwendung macht bei dem Motor an sich keine Schwierigkeit, da die Scheinleistung der Hilfswicklung nur klein ist. Durch das umlaufende Drehfeld wird jedoch in den von den Bürsten kurzgeschlossenen Spulen eine Spannung, die Funkenspannung, induziert, die zur Vermeidung von Bürstenfeuer nicht zu hoch werden darf. Hierzu dient die eingangs erwähnte, von der AEG zum Patent angemeldete Anordnung, die darin besteht, daß die Hilfswicklung mit einem stark verkürzten Wicklungsschritt von $^1/_6$ bis $^1/_8$ Polteilung ausgeführt wird, während der Schritt normalerweise $^1/_1$ Polteilung beträgt. Hierdurch wird erreicht, daß eine Windung der Hilfswicklung nicht mehr vom gesamten Drehfeld, sondern nur von einem Bruchteil durchsetzt wird und dementsprechend auch die induzierte Spannung der kurzgeschlossenen Spulen kleiner wird.

Im Betriebe gleicht der Motor ohne Blindverbrauch, dessen Äußeres Bild 2 zeigt, bezüglich Empfindlichkeit gegen Belastungsschwankungen und Höhe des Anzugmomentes dem normalen Asynchron-Motor. Durch Regeln des Anlaßwiderstandes läßt sich ein beliebiges Anzugmoment bis zum doppelten Vollastmoment und mehr erreichen, ohne daß Bürstenfeuer auftritt. Wie aus den in Bild 3 dargestellten Schaulinien hervorgeht, arbeitet der Motor bei Vollast mit $\cos\varphi = 1$, während er bei geringerer Belastung und bei Leerlauf voreilende Phasenverschiebung hat und somit ebenfalls günstig auf den Leistungsfaktor der Anlage einwirkt.

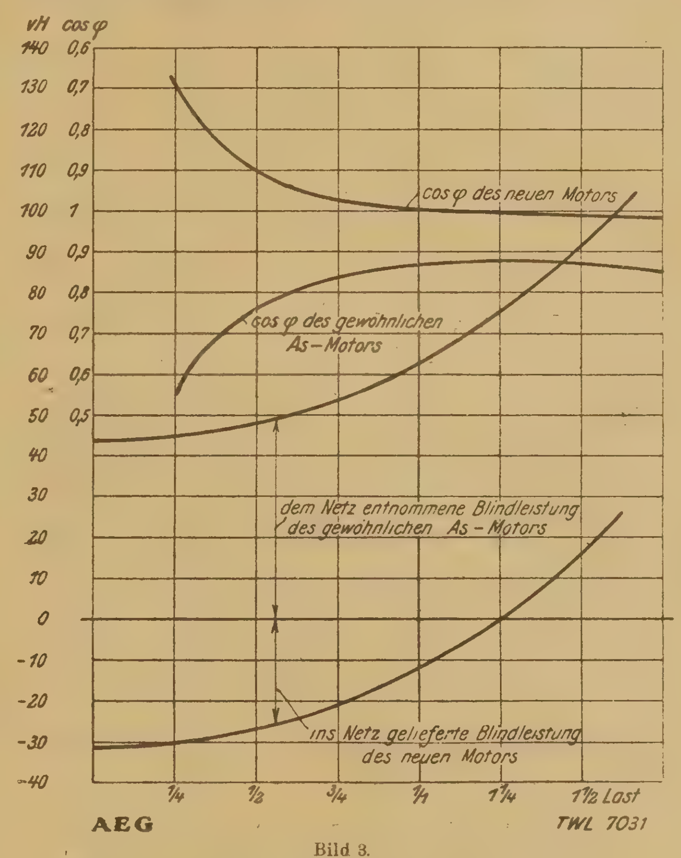


Bild 3.
Blindleistung und cos φ des gewöhnlichen As-Motors und des Asynchronmotors ohne Blindverbrauch.

Eine wirtschaftliche Anwendung des Motors ist, wie bereits erwähnt, je nach der Umlaufzahl bis zu Leistungen von 100 bis 200 kW möglich. Bei größeren Leistungen empfiehlt sich die Verwendung von getrennten Drehstromerregermaschinen. Mit einem Synchron-Motor läßt sich der Motor ohne Blindverbrauch natürlich nicht ohne weiteres vergleichen. An Stellen wo die mechanische Belastung nebensächlich ist und es hauptsächlich auf Lieferung von Blindstrom an das Netz ankommt, wird der Synchron-Motor vorzuziehen sein.

Der Wirkungsgrad des neuen Motors ist ungefähr der gleiche wie der eines gewöhnlichen Asynchron-Motors mit gleicher Leistung und Drehzahl. Der Kommutator des Motors erfordert weniger Wartung als der eines entsprechenden Gleichstrommotors, auch ist der Kohleverbrauch geringer. Seine Betriebsicherheit kann etwa der eines Asynchron-Motors mit Schleifringanker gleichgesetzt werden. Wo man bisher wegen Feuersgefahr oder mangels geeigneter Bedienung Kurzschlußanker-Motoren gewählt hat, ist der neue Motor natürlich nicht am Platze. Desgleichen ist er für Spannungen über 550 V nicht zu empfehlen.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ARMATUREN

Dicker & Werneburg, G. m. b. H.
Halle / Saale

ARMATUREN



für Dampf Gas Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83

München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

AUFZÜGE

für Personen und Lasten, spez. Druckknopfsteuerung
Paternoster-Aufzüge

Adolf Zaiser, Maschinenfabrik,
Stuttgart.

AUFZÜGE



Maschinenfabrik
Mühleissen m. b. H.
Elberfeld

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BEHÄLTER



Dortmunder Vulkan Aktiengesellschaft
DORTMUND

BENZINLAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BLECH-ROHRLEITUNGEN

Rohre und Formstücke

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.
Berlin C 19 Eberswalde

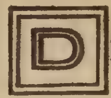
BRUNNENBAU

(Rohrfilterbrunnen)
Reuther Tiefbau G. m. b. H.
Mannheim-Waldhof 7

BÜRSTEN

für die gesamte Industrie zu Maschinen- oder Reinigungszwecken nach Angabe und Zeichnung

Joseph Pötz, Neuwied.



KREUSER-DAMPFHÄMMER
D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser
G. m. b. H.,
Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

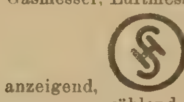
DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 156

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, registrierend zählend.

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

Wassermesser, Luftmesser
für alle Verwendungszwecke

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

DAMPFMESSER

mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.



Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für Kesselhäuser u. dergl.

Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DIAMANT-WERKZEUGE



für alle Zwecke
Diamantwerkzeugfabrik
„Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o,
Belle-Alliance-Straße 82

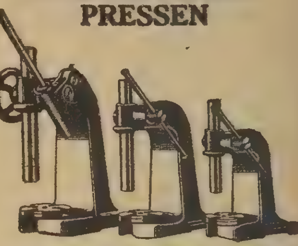
DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68



DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9 a.

DRAHTSEILE

für jeden Industriezweig liefern



Drahtseilwerke
Hermann Kleinholz
G. m. b. H.
Oberhausen (Rhld.) 1824—1924



EISENBETON-INDUSTRIE-BAUTEN

Peretti & Funck, A.-G., Magdeburg
Lübecker Straße 33

EISENFÄSSER

Wilhelm Harms, Hamburg 11

ELEKTRISCHE HANDBOHRMASCHINEN

Tischbohrmaschinen
Schleifmaschinen

Arthur Senftleben
Berlin N 113

ELEKTRO-FLASCHENZÜGE

Seilzüge für größere Hubhöhen, „Schlangenzüge" für kleineren Hub oder genaueste Arbeiten.

R. Stahl A.-G.
Aufzugfabrik
Stuttgart

ENTÖLER

F. Mattick, Dresden 24c
Münchener Str. 30
Maschinenfabrik u. Eisengießerei in Pulsnitz in Sa.

ENTÖLER

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

LHL (Linke-Hofmann-Lauchhammer)-Mitteilungen

Ausnutzung der Inn-Wasserkraft bei Töging.

Die Inbetriebnahme des ersten Teiles des Walchensee-Kraftwerkes hat die Aufmerksamkeit erneut auf die Bestrebungen zur Ausnutzung der bayerischen Wasserkräfte gelenkt. Die bedeutenden Anlagen des Walchensee-Kraftwerkes sowie der Ausbau der mittleren Isar sind weit bekannt, weniger Beachtung hat dagegen bisher eine Anlage zur Ausnutzung der Wasserkräfte des Inn gefunden, welche von dem Innwerk der Bayerischen Aluminium-A.-G., München bei Töging gebaut wird. Hier handelt es sich um die Nutzbarmachung erheblicher Leistungen, welche denen der anderen Werke nicht nachstehen; dabei wird dem Inn von Mühldorf an fast das ganze Wasser entzogen und durch einen 27 km langen Kanal, der teils im Auftrag, teils im Abtrag liegt, dem Wasserschloß bei Töging zugeführt. Von



dort erfolgt die Weiterleitung über einen Abhang von etwa 30° Neigung durch eine Rohrleitung aus 15 genieteten Rohren von je 4 m Durchmesser, welche fächerförmig den Turbinen zugeleitet werden. Letztere, als Stirnkesselturbinen mit fliegendem Laufrad ausgebildet, haben eine Leistung von je 6400 PS, so daß die Gesamtleistung 126 000 PS beträgt. Neben den Druckrohrleitungen ist eine Erregerleitung von 0,9 m Durchmesser verlegt, welche das Druckwasser der Erreger-Turbine von 350 PS zuführt. Im ganzen wird ein mittleres Gefälle von etwa 30 m ausgenutzt.

Nach Durchgang durch die Turbinen wird das Wasser durch einen Auslaufkanal dem Inn unmittelbar wieder zugeführt; bei Außerbetriebsetzung des Kraftwerkes fließt das Wasser durch 3 Entlastungsleitungen von 2,6 bezw. 2,2 m mittlerem Durchmesser vom Wasserschloß direkt dem unteren Kanal zu.

Der Umfang der Arbeiten, um die es sich bei diesem Bauwerk handelte, wird am besten ersichtlich durch einige Angaben, über die von der LHL A. G. Abteilung Eisenbau Riesa in Flußeisen von Kesselblechqualität ausgeführten Rohrleitungen, welche in Abbildung 1 und 2 dargestellt sind.

In Anbetracht der schwierigen Verhältnisse für die Ausführung von Rohren so großen Durchmessers (4,0 m) bei dem geringen Wasserdruck von 2,8 kg/cm² wurde zunächst in dem Werk Lauchhammer ein Probestück mit der vorgesehenen Wandstärke von 13 mm ausgeführt, und das Verhalten desselben bei verschiedenen Stützweiten und wechselndem Füllungsgrad geprüft. Dabei ergab sich die gewählte Wandstärke als richtig, und es wurde eine Stützenentfernung von 9,2 m bei direkter Auflagerung auf Betonsockeln als zweckmäßig festgestellt. Die Rohre sind zwischen den Unterstützungen ausgeführt und lediglich durch schwere Auflagerringe versteift. Mit Rücksicht auf den Bahnversand mußte die Rohrleitung im Werk in Halbschalen fertiggemacht und zum Versand gebracht werden. Auf der Baustelle wurden dann die Halbschalen auf besonderem Werkplatz zu Rohrschüssen vereinigt und diese mit Transportwagen zur Verwendungsstelle gefahren. Der Einbau erfolgte mittels fahrbarer Schwenkmasten.

Für die Herstellung der gesamten Leitungen im Gewicht von 1800 t waren zu bohren 648 000 Löcher von 20 mm Durchmesser, und es mußten 28 km Blechkanten behobelt werden.



Insgesamt waren beim Zusammenbau zu schlagen 343 000 Nieten, zu verstemmen 278 000 Nieten innen und außen, sowie 26 km Rund- und Längsnähte. Zur Durchführung dieser Arbeiten waren auf der Baustelle monatelang 240 Monteure und Arbeiter unter Aufsicht von 3 Ingenieuren tätig. Die Nietung und Verstemmung geschah mit Preßluft-Werkzeugen, für deren Antrieb eine Preßluft-Station mit 38 cbm Leistung benutzt wurde.

Besondere Sorgfalt in der Herstellung erforderten die Krümmerstücke am Wasserschloß und am Kraftwerk, da sie Richtungsänderungen in zwei Ebenen aufwiesen. Für jedes Rohr war eine Ausdehnungsmöglichkeit durch ein stopfbuchsartig ausgebildetes Ausdehnungsstück unmittelbar unter dem Wasserschloß gegeben. Die gesamten Arbeiten sind in der Werkstatt derartig vorbereitet worden, daß trotz des großen Umfanges dieser Arbeiten keine Schwierigkeiten infolge Nichtpassens eingetreten sind.

Die Arbeiten werden voraussichtlich noch in diesem Sommer beendet sein und die Inbetriebnahme sodann erfolgen, wodurch ein großer Schritt vorwärts zur Ausnutzung der bayerischen Wasserkräfte getan ist.

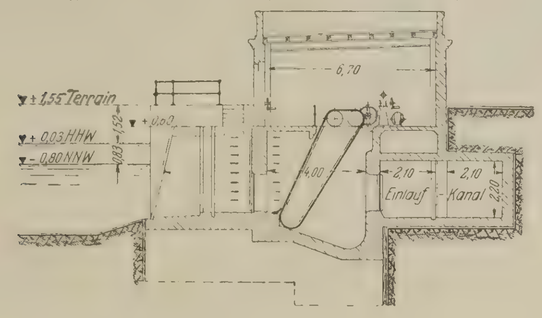
BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Mechanischer Wasserreiniger.

Zahlreiche industrielle Anlagen, die für die verschiedensten Zwecke größere Wassermengen benötigen, müssen auf eine weitgehende Reinigung des Wassers größten Wert



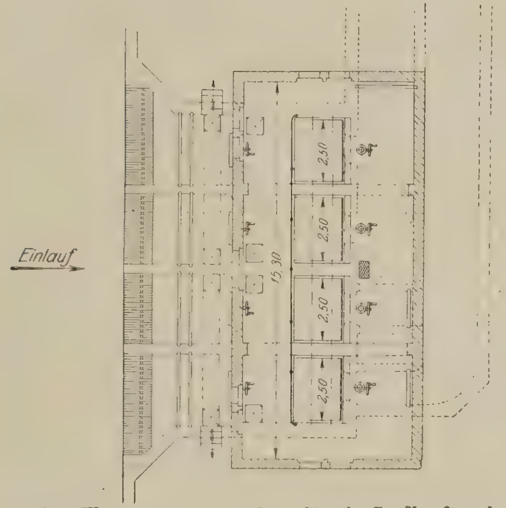


Bild 1 Wasserreinigungsanlage für ein Großkraftwerk

legen. Rechenanlagen in Verbindung mit Absitzbecken vermögen dieser Forderung nur in beschränktem Maße nachzukommen, da erfahrungsgemäß selbst bei sehr geringen Geschwindigkeiten des Wassers im Absitzbecken Schwebestoffe sich nur unvollkommen absetzen können. Die höheren Ansprüchen genügenden Sandfilter scheiden vielfach der hohen Kosten und des großen Platzbedarfes wegen aus. Feinsiebanlagen mit einer Reinigung der Siebe durch Bürsten verschmutzen selbst sehr leicht und können demzufolge eine bestimmte Maschenweite nicht unterschreiten; das hat natürlich eine Beschränkung der Reinigungswirkung zur Folge. Der AEG ist es gelungen, nach den Patenten von Smits einen Reiniger zu entwickeln, der im Gegensatz zu den übrigen Reinigerarten tatsächlich eine dauernd gleichmäßige hochgradige mechanische Reinigung des Wassers ermöglicht (Bild 1 bis 3).

Der Reiniger wird aus einzelnen Siebplatten zusammengesetzt, die miteinander durch Gelenke verbunden sind. Jede Siebplatte besteht aus einem eisernen, mit Spezial-Bronzegaze überzogenen Rahmen. Die Maschenweite wird den jeweiligen Erfordernissen angepaßt. Die Gazescheiben sind fest auf den durch Gelenke zusammengehaltenen

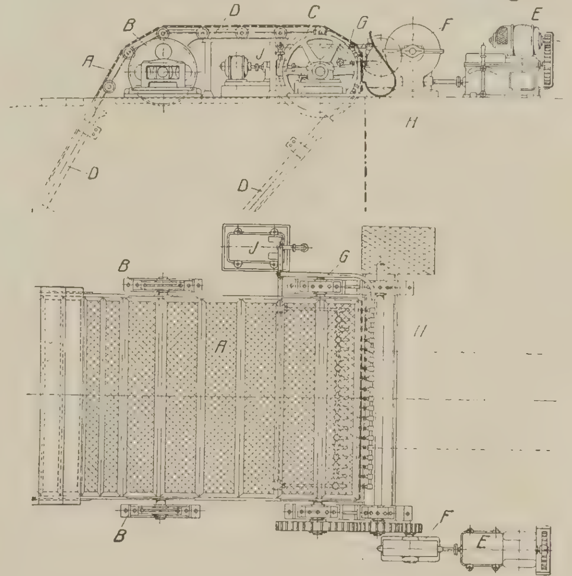


Bild 3 Einzelheiten des Antriebes und der Abspritzvorrichtung

A = Siebplattenband
B = Führungsräder
C = Siebplattenband-Antriebsräder
D = Führungen
E = Antriebs-Elektromotor
F = Schneckengetriebe
G = Spritzwasser-Druckleitung mit Düsen
H = Schlammrinne
I = Spritzwasserpumpenanlage

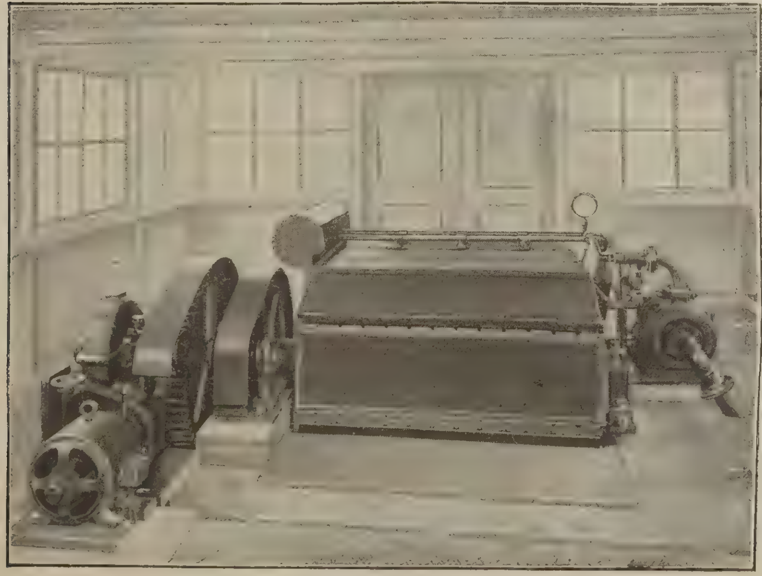


Bild 2 Wasserreiniger mit Abspritzvorrichtung

Grundrahmen befestigt, die vermittelst Rollen in Schienen aus Profileisen und über Führungsscheiben geleitet werden. Durch einen Elektromotor wird die Gelenkkette mit den Siebplatten angetrieben und durch das zu reinigende Wasser geführt. Sie läuft dann über die außerhalb des zu reinigenden Wassers gelegene Abspritzvorrichtung. Um eine gründliche Reinigung der Siebe zu erzielen, wird unter hohem Druck stehendes Wasser vom inneren Teil des Siebbandes aus durch die Siebe gespritzt, wodurch der an den Sieben haftende Schlamm sowie jede Unreinlichkeit zusammen mit dem Abspritzwasser zu den seitlich gelegenen Schlammwasserbehältern geführt wird. Die völlig gereinigten Siebe gelangen hiernach wieder in das zu reinigende Wasser, so daß der ursprüngliche Durchflußquerschnitt stets zur Verfügung steht. Bei einer Leistung von 500 bis 6000 m^3/h wird im allgemeinen nur ein Siebband verwandt. Bei größeren Leistungen werden mehrere derartige Siebbänder parallel geschaltet. Der Kraftbedarf zur Bewegung des Siebes beträgt je nach der Größe der Anlage 0,5 bis 5 PS.

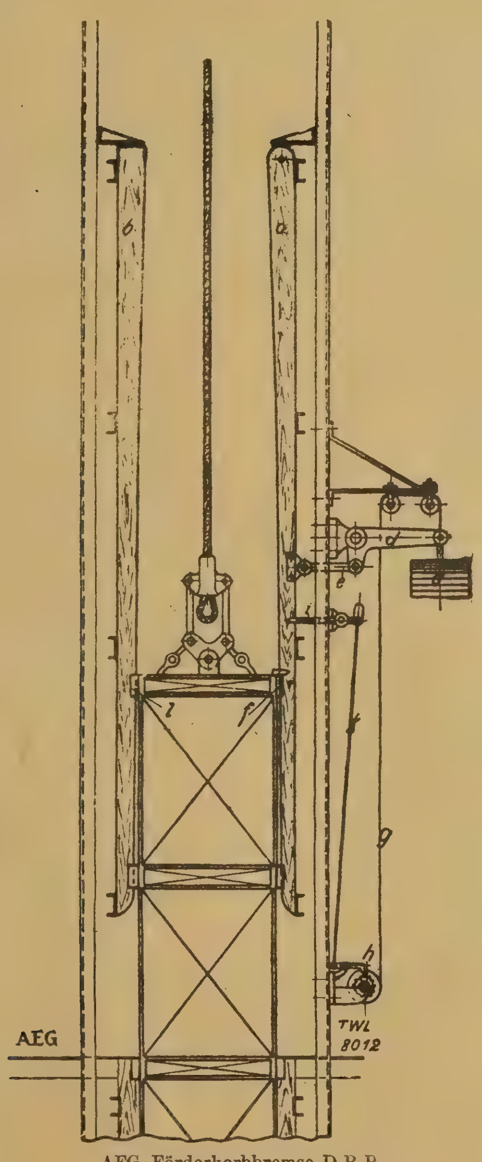
Der Reiniger kommt in Frage sowohl für die Reinigung von Fluß-, Brunnen-, Gruben- und Schachtwässern als auch von Abwässern jeder Art, bei denen aus hygienischen, wirtschaftlichen und betriebstechnischen Gründen eine Entfernung der mechanischen Beimengungen des Wassers notwendig ist.

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilungen der AEG

Bremseinrichtungen bei Förderanlagen. Förderkorbbremse D. R. P.

Bei Fördermaschinen hängt die Sicherheit des Betriebes im hohen Maße von der richtigen Arbeitsweise der Bremseinrichtungen ab, die dazu bestimmt sind, dann einzugreifen, wenn aus irgend einem Grunde die Kräfte, die bei wichtigen Arbeiten den Stillstand der Maschine erzwingen sollen, ganz oder teilweise versagen.



AEG-Förderkorbbremse D.R.P.

Aus diesem Grunde wird auch der Ausbildung der direkt auf die Fördermaschine wirkenden Sicherheitsbremse die größte Aufmerksamkeit geschenkt.

Die AEG hat hierfür eine besondere — ihr durch D.R.P. geschützte — Konstruktion entwickelt, die sich bereits im praktischen Betriebe bestens bewährt hat und allen an diese Bremse zu stellenden Ansprüchen voll genügt.

Nun können aber im Förderbetriebe, insbesondere bei Treibscheibenförderung, Fälle eintreten, bei denen auch die beste derartige Bremseinrichtung nicht vor Beschädigung des Materials und Störungen des Betriebes schützen kann.

Wird z. B. bei Betrieb mit Treibscheibe in der Nähe der Hängebank stark verzögert oder zu scharf gebremst, oder hat sich die Reibungskraft zwischen Seil und Scheibe infolge frischer Schmierung des Seils, Nässe oder Eisbildung vermindert, so tritt leicht ein Gleiten des Seils auf der Treibscheibe ein.

Selbst wenn in diesen Fällen die Treibscheibe durch die auf sie wirkenden Kräfte richtig zum Stillstand kommt, so wird doch das Seil auf der Scheibe weiter wandern und den Förderkorb gegen die Seilscheiben treiben bzw. sich günstigstenfalls in den verdickten Spurlatten festklemmen. Dieses **Festklemmen in den verdickten Teil der Spurlatten ist fast stets mit einem heftigen Ruck verbunden, wodurch das Seil derart beansprucht wird, daß die Gefahr des Zerreißens des Seiles besteht.** Ein Zerreißen des Seiles hat stets schwere Beschädigungen an der ganzen Anlage zur Folge.

Aber auch wenn ein Seilbruch nicht eintritt, entsteht eine erhebliche Störung des Förderbetriebes, da das Wiederfreimachen des Korbes aus den Spurlatten stets mit großem Zeitverlust verbunden ist.

Nun besitzt jedes Fördergerüst, insbesondere wenn es für Personenförderung benutzt wird, zwischen der betriebsmäßig höchsten Förderkorbstellung und dem Beginn der Verdickung der Spurlatten einen freien Überfahrweg von etwa 3 bis 8 m, doch gab es bisher noch keine Einrichtungen, welche diesen freien Weg im Bedarfsfalle zur Bremsung des Förderkorbes nutzbar machten.

Die jetzt von der AEG vorgeschlagene Bremseinrichtung sieht nun eine direkte selbsttätig einsetzende Bremsung des Förderkorbes mittels einer den Betriebsverhältnissen angepaßten Bremse vor. Die Bremse wird vom Förderkorb nach einer geringen (einstellbaren) Überschreitung der betriebsmäßig höchsten Stellung ausgelöst und bremst den Förderkorb auf dem ganzen zur Verfügung stehenden freien Übertreibweg.

Ein Ausführungsbeispiel der Bremse ist im Prinzip aus der beigegebenen Skizze zu ersehen.

Die Spurlatte *a*, die beweglich angeordnet ist, wird beim Übertreiben des Förderkorbes mittels des Gewichtes *c* und der Hebel und Gestänge *d* und *e* an den Förderkorb-Gleitschuh *f* herangedrückt; gleichzeitig wird sich auch der Förderkorb mit dem Gleitschuh *l* gegen die feste Spurlatte *b* legen, so daß der Korb an beiden Seiten gebremst wird.

In der Ruhelage wird das Gewicht *c* mittels des Drahtseiles *g* und der Winde mit Sperrklinke *h* hochgehalten. Die Auslösung erfolgt durch den Förderkorb selbst mittels der Ausklinkhebel und Gestänge *i* und *k*, welche die Sperrklinke lösen.

Die wirkliche Ausführung der Bremse richtet sich nach der vorhandenen Ausführung des Schachtgerüstes und den erforderlichen Bremskräften. Auch kann eine gleiche Bremseinrichtung am Füllort geschaffen werden, ohne daß bei dieser die Gefahr des Stauchens besteht.

Soll nach erfolgter Bremsung die Anlage wieder betriebsfähig gemacht werden, so ist nur erforderlich, das Bremsgewicht wieder hoch zu winden.

Selbstverständlich kann auch Druckluft oder ein Elektromotor als Bremskraft oder für die Auslösung ein Elektromagnet verwendet werden. Auch kann die Bremse regulierbar eingerichtet werden, derart, daß die Bremskraft mit zunehmender Annäherung an die Seilscheiben zunimmt.

Da die Förderkorbbremse die Sicherheit des Betriebes wesentlich erhöht und gegebenenfalls längere Betriebsstörungen verhindert, ist der Einbau derselben bei Treibscheibenmaschinen von großem Vorteil.

Auch bei Fördermaschinen mit Trommeln, die noch nicht mit einer präzise wirkenden Sicherheitsbremse ausgerüstet sind, ist der Einbau der Förderkorbbremse dringend zu empfehlen.

Wir weisen an dieser Stelle auf die AEG Sicherheitsbremse hin, die allen zu stellenden Anforderungen in weitgehendem Maße genügt.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

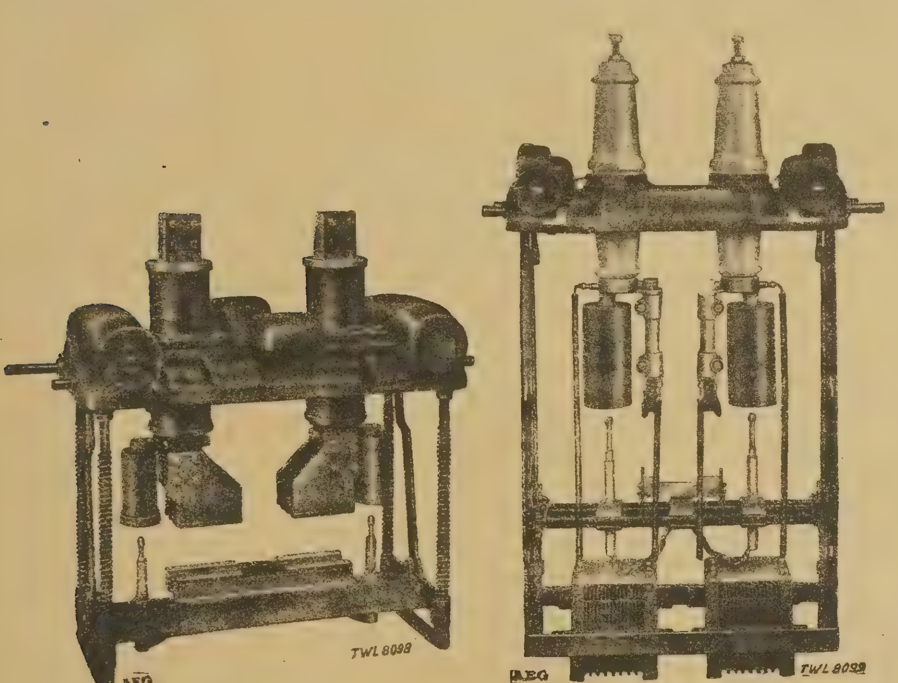
BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilung der AEG

Hochleistungsölschalter mit Löschkammern.

Die Beherrschung der Kurzschlußleistungen großer Zentralen ist eines der wichtigsten Probleme der Hochspannungstechnik, deshalb spielen die Ölschalter eine besondere Rolle, da sie berufen sind, die gewaltigen Ströme abzuschalten, die auftreten können, wenn sämtliche Generatoren einer oder mehrerer Zentralen auf einen Kurzschluß arbeiten. Die zu unterbrechende Leistung ist im Abschaltlichtbogen des Ölschalters konzentriert; die zeitliche und räumliche Begrenzung dieses Lichtbogens muß daher das Ziel sein, das der Konstrukteur eines Hochleistungsölschalters im Auge hat. Die zeitliche Begrenzung erreicht man durch möglichste Beschleunigung des Ausschaltvorgangs, die räumliche Begrenzung ist bei den Konstruktionen der AEG seit über 10 Jahren durch Einschließen des Lichtbogens in eine kleine Kammer, die sogenannte Löschkammer erstrebt worden. Der Entwicklung in dieser Richtung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß man allgemein einen Schaden am besten an dem Punkte seines Entstehens erfaßt, ehe er Gelegenheit hat, sich weiter auszuwirken, und daß man in diesem besonderen Falle sogar einen Teil seiner Wirkungen zu seiner eigenen Bekämpfung benutzen kann.



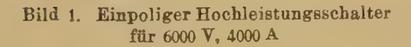


Bild 1. Einpoliger Hochleistungsschalter für 6000 V, 4000 A

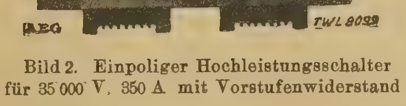


Bild 2. Einpoliger Hochleistungsschalter für 35 000 V, 350 A mit Vorstufenwiderstand

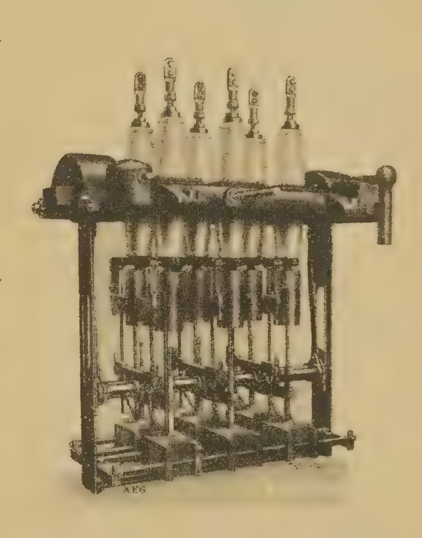


Bild 3. Dreipoliger Hochleistungsschalter für 35 000 V, 350 A mit Vorstufenwiderstand.

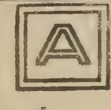
Der Lichtbogen verwandelt das Öl in brennbares, hochgespanntes Gas von hoher Temperatur. Wird dieses Gas, ehe es mit der Luft in Berührung kommt, nicht unter seinen Flammpunkt abgekühlt, so explodiert es. Bei den sogenannten „druckfesten" Schaltern spielt sich ein Wettlauf zwischen den mit steigenden Leistungen wachsenden Drucken und dem mechanisch immer widerstandsfähiger auszubildenden Schalterkessel ab. Bei der Löschkammer tritt der höchste Druck nur innerhalb dieser Kammer auf, die aus einem zylindrischen Rohr mit isolierender Einlage bestehend, leicht eine erhebliche Festigkeit erhalten kann. Der stiftförmige Kontakt, der in die Löschkammer durch eine enge Öffnung in der unteren Wand eintritt, besteht bei Schaltern bis 35 kV Betriebsspannung aus zwei Teilen, die teleskopartig durch eine Feder ineinander gezogen werden. Der äußere Teil ist auf der Schalttraverse befestigt, der innere, der eigentliche Kontakt, trägt am oberen Ende eine knopfartige Verdickung, an der er in dem an der oberen Wand der Löschkammer befindlichen Gegenkontakt festgehalten wird. Wird beim Ausschalten die Traverse nach unten bewegt, so werden zunächst die Hälften des Stiftkontaktes auseinandergezogen, dabei die Feder gespannt und dann der Stift aus dem Gegenkontakt herausgerissen. Der nun auftretende Lichtbogen verdampft einen Teil des Öles in der Löschkammer. Da die einzige Öffnung noch durch den Stiftkontakt verschlossen ist, wird hierbei ein sehr hoher Druck erzeugt. Dieser beschleunigt die kleine Masse des für sich beweglichen Kontaktstiftes und wirkt gleichzeitig erstickend („löschend") auf den Lichtbogen. Ist der Lichtbogen in dem Augenblick, in dem das Ende des Stiftes durch die Kammerwand tritt, noch nicht gelöscht, so wirkt das durch die Öffnung dem Stift mit großer Vehemenz nachgepreßte Öl in dem gleichen Sinne. Auf diese Weise wird der durch den Lichtbogen erzeugte Druck dem Löschvorgang dienstbar gemacht, ohne den Ölschalterkessel selbst nennenswert zu beanspruchen*).

Die Bilder 1 und 2 zeigen einpolige Schalter, die mit Löschkammern ausgerüstet sind. Der Schalter nach Bild 1 ist für sehr hohen Strom (4000 A) bestimmt. Deshalb ist er mit einer großen Anzahl von Kontakten ausgerüstet, die beim Ausschalten einen Augenblick vor dem Stiftkontakt — also funkenfrei — unterbrechen und diesem die eigentliche Abschaltung überlassen. Die Stiftkontakte übernehmen im Betrieb nur einen sehr kleinen Teil des Stromes; auch sind sie von dem hohen Einschaltstromstoß vollständig entlastet, der von der großen Metallmasse der einen Augenblick vor den Stiftkontakten zum Eingriff kommenden Hauptkontakte aufgenommen wird.

Der Schalter nach Bild 2 besitzt außerdem Vorkontaktwiderstände, die in den unter der Schaltertraverse befindlichen Kästen auf Isolationsplatten aufgewickelt sind. Der Einschaltvorgang spielt sich so ab, daß zunächst über die zwischen den unteren Enden der Löschkammer sichtbaren Kontakte die Widerstände eingeschaltet werden; im weiteren Verlauf werden diese durch die den Betriebsstrom führenden Hauptkontakte kurzgeschlossen, und zuletzt treten die Stiftkontakte in ihre Gegenkontakte innerhalb der Löschkammer ein. Bild 3 zeigt einen Schalter, der im Prinzip dem Schalter von Bild 2 entspricht, jedoch in dreipoliger Ausführung.

*) Wie vollkommen gleichzeitig die eingangs erwähnte zweite Aufgabe, nämlich die zeitliche Begrenzung des Lichtbogens gelöst wird, erhellt aus der Tatsache, daß bei Abschaltleistungen von mehr als 500 000 kVA und 7000 V mit AEG-Löschkammerschaltern sich die Lichtbogendauer auf $^1/_{100}$ s herunterdrücken läßt.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ABDAMPF-ENTÖLER

„BÜHRING" / D. R. P.
mit Ölrückgewinnung



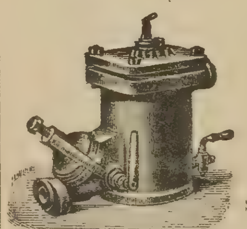
Bühring A.-G., Landsberg
Bez. Halle / Maschinenfabr.
Kesselschmiede-Apparateb.

ARMATUREN

Dicker & Werneburg, G. m. b. H.
Halle/Saale

ARMATUREN

für
Dampf
Gas
Wasser



liefert
als
Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen
der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83

München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

für Personen, Lasten, Speisen, Akten

Heime & Hans Herzfeld
Halle a. S.
Masch.-u. Apparate-Fabrik



AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

Elektrische Aufzüge für Personen oder Lasten mit Seil- oder elektrischer Steuerung
Paternosteraufzüge für Personen

Maschinenfabrik
Gustav Ad. Koch
Hamburg 39

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

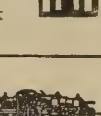
in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

AUTOGENE

Schweiß- und Schneid-Anlagen mit sämtlichem Zubehör.
Gaswerkzeuge
für alle Gasarten.

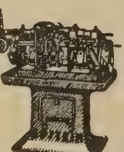
Heime & Hans Herzfeld
Halle a. S.
Masch.-u. Apparate-Fabrik



Epstein-
AUTOMATEN

die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BEHÄLTER

Lyra-Kompensatoren, Kessel, Kondensatormäntel, Rohrschlangen, Unterstützungen, Vorwärmer, Wasserabscheider,
Montagen im In- und Auslande durch

E. Otto Dietrich
Rohrleitungsbau-A.-G. Bitterfeld
Berlin-Wilmersdorf. Babelsbergerstr. 7
Eigenes Röhrenwerk.

BENZINLAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BLECH-ROHRLEITUNGEN

Rohre und Formstücke

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.
Berlin C 19 Eberswalde

BRUNNENBAU

(Rohrfilterbrunnen)
Reuther Tiefbau G. m. b. H.
Mannheim-Waldhof 7



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser
G. m. b. H.,
Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.



SICHERHEITS-
DAMPFKESSEL-SCHLAMM-ABLASS-VENTILE

System „Bühring" D. R. G. M.

Ventilkegel während des Betriebes nachschleifbar.
Aus Vorrat lieferbar.

Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik / Kesselschmiede
Apparatebau

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Belastungsmesser in verschied. Ausführungen,
Luftmengenmesser, Manometer, Wassermesser, Thermometer

J. C. Eckardt A.-G.
Stuttgart-Cannstatt

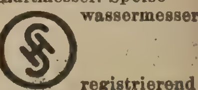
DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 156

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, zählend, registrierend

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

DAMPFMESSER

mit automatischer Druckberücksichtigung
D. R. P.

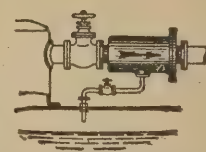
Dampfuhren
Verbrauchsanzeiger für Kesselhäuser u. dergl.



Otto Wagner
Volumenmeßapparate
Berlin-Lankwitz

DAMPFTROCKNER

„ORCA" / D. R. P.



Dampfreiniger
Entwässerer
erzeugt völlig reinen schlammfreien trockenen Dampf

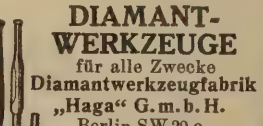
Kohlenersparnis bis 15%

Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik - Kesselschmiede
Apparatebau

DIAMANT-WERKZEUGE

für alle Zwecke

Diamantwerkzeugfabrik „Haga" G. m. b. H.
Berlin SW 29 o.
Belle-Alliance-Straße 82



DIESELMOTORE

und alle anderen Kraftanlagen in allen Stärken stets sofort lieferbar. Neu od. gebraucht. Konkurrenzlos. Demontage. Transport. Montage im In- u. Ausland. — Ia Referenzen.

Hans G. Nissen, Berlin SW 68

DORNEINTREIBE-PRESSEN



welche in keiner Dreherei fehlen dürften, stellt her als Spezialität:

Schönauer Maschinenfabrik
G. Karl Müller
Chemnitz-Schönau 9a.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

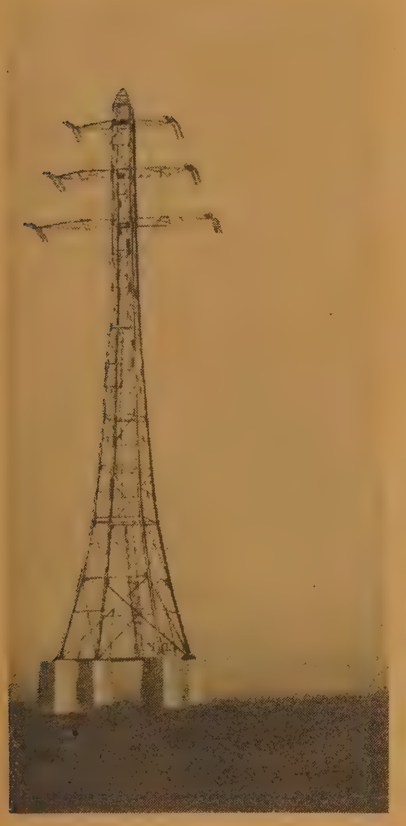
Neue Wege der Kraftwirtschaft

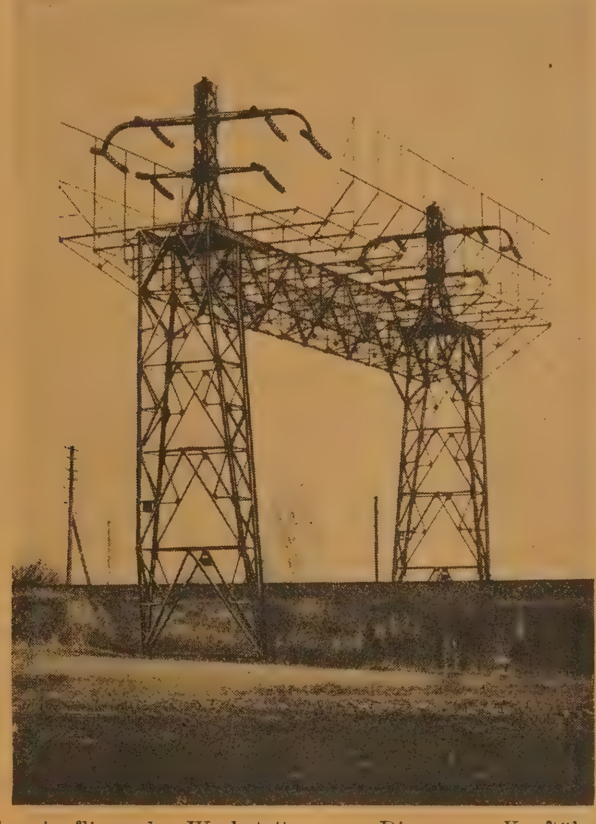
LHL (Linke-Hofmann-Lauchhammer) - Mitteilungen

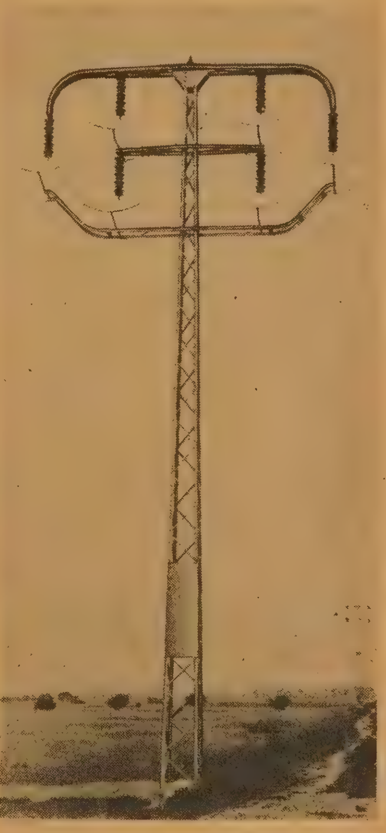
Gittermasten für elektrische Hochspannungen.

Die Herstellung von Gittermasten ist von jeher ein Sondergebiet der Linke-Hofmann-Lauchhammer A.-G. Abteilung Eisenbau Riesa gewesen.

Die Gittermasten dienen insbesondere der Übertragung von elektrischer Kraft, daher war ihre Entwicklung bedingt durch die Fortschritte auf elektrotechnischem Gebiete. Noch um die Jahrhundertwende wurde die Elektrizität vorzugsweise für Beleuchtungszwecke und Straßenbahnbetrieb verwendet, wofür in der Regel Gittermasten von kleineren Abmessungen, ausnahmsweise auch einfache Rohrmasten genügten. Trotzdem wurden auch schon damals von der LHL-A.-G. Gittermasten in größerem Umfange geliefert, zumal zugleich mit den Eisenkonstruktionen elektrischer Kraftstationen, u. a. bereits im Jahre 1897 und 98 für Buenos Aires und Santiago, sodann für Spanien in Barzelona (140 t) und für Gracia (1000 t), wobei zu bemerken ist, daß für Spanien unbearbeitetes Material geliefert wurde, welches in fliegender Werkstatt bearbeitet und zusammengebaut wurde.







Ähnliche Ausführungen fanden in der Folgezeit für zahlreiche Kraftwerke in Italien, Finnland und für Übersee Anwendung.

Inzwischen hatte sich in Deutschland der elektrische Strom auch das flache Land erobert; zahlreiche Überlandzentralen mit umfangreichen Verteilungsnetzen entwickelten sich, besonders als durch die Verwendung hochgespannten Wechselstromes die Übertragung der elektrischen Kraft in größeren Mengen und auf weitere Entfernungen mittels Transformatoren möglich wurde.

Während die meisten Unternehmungen damals für solche Kraftübertragungen eine Spannung wählten, welche man heute kaum noch als Hochspannung bezeichnen würde, hat bereits im Jahre 1911/12 die LHL-A.-G. in ihrer Kraftübertragung von Lauchhammer nach Gröditz und Riesa als erste auf dem europäischen Kontinent eine Spannung von 110 000 Volt verwendet. Schon in den für diese Leitung von Lauchhammer selbst entworfenen und gebauten Masten kommen die bei Gittermasten für Hochspannungsleitungen maßgebenden Gesichtspunkte, nämlich absolute Sicherheit in elektrischer und statischer Beziehung bei größter Wirtschaftlichkeit, voll zur Geltung. Die Masten wurden nicht nur auf Eigengewicht und Zugspannung, sondern auch auf Windbeanspruchung (125 kg/m²) und Schneelast berechnet. Als zulässige Beanspruchung wurden im ganzen 1300 bis 1400 kg/cm² gewählt. Die Ausführung der für die Aufnahme von 6 Phasenseilen und einem Blitzseil bestimmten Masten ist in Abb. 1 dargestellt.

Ursprünglich waren für die Leitungen besondere Schutzbügel vorgesehen, auch wurden von der Reichsbahn Schutzbrücken für Bahnkreuzungen, s. Abb. 2, vorgeschrieben, ebenso wie für die Kreuzung von Landstraßen.

Die ganze Kraftübertragung hat sich im vollsten Umfange bewährt, und gerade die Erfahrungen beim Bau und Betrieb dieser ersten Hochspannungsstrecke waren grundlegend für die später herausgegebenen Vorschriften zur Berechnung eiserner Masten, so daß die Arbeiten der LHL.-A.-G. auf diesem Gebiete bahnbrechende Bedeutung erlangt haben. Die weitere Entwicklung war günstig beeinflußt durch die allmähliche Erleichterung der Bauvorschriften, besonders bezüglich der Fundierungen und Schutzbrücken.

Heute sind Hochspannungsnetze von mehreren Tausend Kilometer Länge über die ganze Welt verbreitet, und gerade die LHL.-A.-G. liefert einen Beweis dafür, daß die deutsche Industrie, voran die genannte Firma, welche als erste in Deutschland Hochspannungs-Gittermasten von mehr als 11 000 t Gewicht gebaut hat, noch auf alter Höhe steht (s. Abb. 3 Hochspannungsleitung über die Elbe bei Dresden 1921).

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ABDAMPF-AUSNUTZUNG

Abdampf-Lufterhitzer
Abgas-Saugzug-Anlagen
Abgas-Economiser
Abgas-Lufterhitzer

Auslandsvertreter gesucht!

Abwärme-Ausnutzung u. Saugzug G. m. b. H. „ABAS“, Berlin W 57.

ABDAMPF-ENTÖLER

„BÜHRING“ / D. R. P. mit Ölrückgewinnung



Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle / Maschinenfabr. Kesselschmiede-Apparateb.

ADRESSEN

aller Art von In- und Ausland

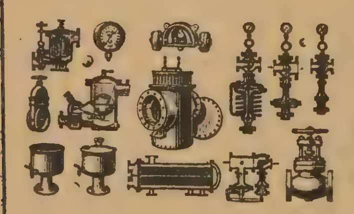
Robert Tessmer A.-G., Berlin C 21
Gegr. 1878 Wallstr. 16 Gegr. 1878

ARBEITS- UND BERUFSKLEIDUNG

kauft man am Besten in dem ältesten und größten Spezialgeschäft von

Kohnen & Jöring, Berlin O 27
Alexanderstr. 12.
Siehe ausführliche Anzeige in den VDI-Nachrichten

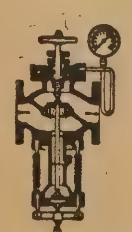
ARMATUREN



Bügler & Co., Hannover-V
Maschinen- und Armaturenfabrik.

ARMATUREN

für



Dampf, Gas, Wasser liefert als Spezialität

Theodor Kaulen, Berlin.

ARMATUREN

Dicker & Werneburg, G. m. b. H.
Halle/Saale

ARMATUREN

Ventile für Satt- und Heißdampf
Schieber für Wasser und Gase
Schieber für Heißdampf

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFWALZMASCHINEN

zum Befestigen der Flanschen auf Rohre

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.,
Berlin C 19 Eberswalde

AUFZÜGE



Aufzugswerke Nürnberg
M. Schmitt & Sohn
Schließfach 83
München / Mannheim
Köln / Saarbrücken / Hannover
Hamburg / Berlin W / Essen

AUFZÜGE

sämtlicher Systeme an 30000 Anlagen geliefert. Paternosteraufzüge, Bahnhofsaufzüge, Speiseaufzüge

Carl Flohr A.-G., Berlin N 4
Maschinenfabrik
ca. 2000 Arbeiter und Beamte
Gegründet 1852

AUFZÜGE

für Personen, Lasten, Speisen, Akten

Heime & Hans Herzfeld
Halle a. S.
Masch.- u. Apparate-Fabrik



AUFZÜGE

sämtlicher Systeme
Spez.: Industrieaufzüge

Maschinenfabrik Erich Gimpel
Berlin SO 33
Telephon: Moritzplatz, 1442 u. 7188
Lieferant staatl. u. städt. Behörden

AUFZÜGE, KRANE

Paternosteraufzüge

Maschinenfabrik Wiesbaden
G. m. b. H.

AUFZÜGE

Elektr. Aufzüge
mit Druckknopfsteuerung
Paternosteraufzüge
Selbsttätige Kippaufzüge für Kohlen- und Schlackenförderung

R. Stahl A.-G., Stuttgart

AUFZÜGE

in Sonderheit Lastenaufzüge mit und ohne Führerbegleitung für Zechen, Fabriken, Lagerhäuser, jed. Betriebsart, Tragkraft und Größe

Windscheid & Wendel
Eisengießerei und Maschinenfabrik
Düsseldorf-O.

AUTOGENE

Schweiß- und Schneid-Anlagen mit sämtlichem Zubehör.
Gaswerkzeuge für alle Gasarten.

Heime & Hans Herzfeld
Halle a. S.
Masch.- u. Apparate-Fabrik

Epstein-
AUTOMATEN



die einfachsten!

Leipzig 1
Tröndlinring 1



BENZIN-LAGERUNGEN

höchster Vollendung

Martini & Hüneke,
Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.
Berlin SW 48

BIEGSAME WELLEN

Maschinenfabrik
Otto Püschel
Berlin-Lichterfelde Steglitzer Str. 21 d

BOHRFUTTER



BLECH-ROHRLEITUNGEN

Rohre und Formstücke

Franz Seiffert & Co., Akt.-Ges.
Berlin C 19 Eberswalde

BRUNNENBAU

(Rohrfilterbrunnen)

Reuther Tiefbau G. m. b. H.
Mannheim-Waldhof 7



KREUSER-
DAMPFHÄMMER

D. R. P.

mit Selbststeuerung oder Handventilsteuerung in ein- u. zweiständriger Ausführung für Reck- u. Gesenkarbeiten.

Adolf Kreuser G. m. b. H., Hamm (Westf.)

Werkstattausführung: Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

SICHERHEITS-
DAMPFKESSEL-SCHLAMM-ABLASS-VENTILE

System „Bühring“ D. R. G. M.

Ventilkegel während des Betriebes nachschleifbar.
Aus Vorrat lieferbar.

Bühring A.-G., Landsberg Bez. Halle
Maschinenfabrik / Kesselschmiede
Apparatebau

DAMPFMESSER

mit Zählwerk, kombiniertem Ventil und Druckberücksichtigung.

Ernst Claassen & Co.,
Berlin-Lichterfelde-Ost,
Mariannenstr. 12a.

DAMPFMESSER

Wassermesser, Preßluftmesser, Gasmesser
mit und ohne Schreib- u. Zählwerk;
mit und ohne autom. Druckberichtig.

Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft
Inh.: Dr. Martin Böhme
Berlin N 31, Brunnenstr. 156

DAMPFMESSER

Gasmesser, Luftmesser, Speisewassermesser



anzeigend, registrierend zählend.

Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk
Siemensstadt bei Berlin

STABE-
DAMPFMESSER

Preßluft- und Wassermesser

anzeigend und registrierend, mit automat. Druckberücksichtigung
Stabe-Dampfmesser D. R. P. 365328
in Hunderten von Ausführungen geliefert für Dampfmaschinen, Dampfhämmer, Walzenzugmaschinen, Fördermaschinen u. dergl.
Man verlange Referenzenliste R 24

Feodor Stabe Apparatebauanstalt
Berlin SO 26

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

Neue Wege der Kraftwirtschaft

Mitteilung der AEG

Rauchgasprüfung in Gaswerken.

Die Wärmeverluste im Entgasungsofen.

Die Betriebskosten in Gaswerken sind zum größten Teil diejenigen für Ankauf von Kohle, so daß in keiner anderen Fabrikation wärmewirtschaftliche Ersparnisse die Herstellungskosten so wie hier beeinflussen. Die Betriebsführung fordert deshalb dauernde Beobachtung und Einschränkung aller auftretenden Verluste in noch weit höherem Maße als bei Werken, bei denen das Kohlenkonto nur einen Bruchteil der Selbstkosten ausmacht. Außer von der Bauart der Öfen sind die Wärmeverluste abhängig von der Einstellung der Luft. Bei der unvermeidlich hohen Abgastemperatur haben geringe Veränderungen der Luftmenge großen Einfluß auf die ungenutzt entweichende Abwärme. Die Einstellung der Luftzufuhr muß deshalb mit weit größerer Genauigkeit erfolgen als z. B. bei Kesselfeuerungen.

AEG TWL 8269

Bisherige Prüfmaßnahmen.

Trotz der periodischen Regelmäßigkeit des Entgasungsvorganges bietet eine gelegentliche Rauchgasprüfung durch Bestimmung des CO_2-Gehaltes keine Gewähr für eine dauernd richtige Einstellung der Luftklappen. Je nach den Witterungsverhältnissen und der Kohlenbeschaffenheit verändern sich die Verbrennungsverhältnisse. Bei Einzelgeneratoren ist deshalb mindestens täglich eine Prüfung der Rauchgase für jeden einzelnen Generator erforderlich, bei Zentral-Generatoren die Prüfung der Rauchgase für jeden Ofenblock. Um hierfür ein betriebsmäßig einfaches Mittel zu gewinnen, hat man vielfach mit Luftmangel gearbeitet und durch die Schaulöcher an einer bestimmten Stelle des Ofens die sich bildenden Flammenspitzen beobachtet, um einen Anhaltspunkt über die Gleichförmigkeit des Ofenganges zu gewinnen und danach die Luftklappen einzustellen. Diese betriebsmäßig einfache Maßnahme hat aber den Nachteil bedeutender Wärmeverluste durch unvollkommene Verbrennung. Obwohl es richtig ist, daß die meist auftretenden Verluste auf zu hohen Luftüberschuß zurückzuführen sind, ist es keine befriedigende Lösung, zu ihrer Vermeidung umgekehrt Verluste durch unvollkommene Verbrennung in Kauf zu nehmen, nur um eine einfache Kontrollmaßnahme zu erhalten.

Verwendung von Rauchgasprüfern.

Erschwerend gegenüber der laufenden Rauchgasprüfung bei Dampfkessel ist die Notwendigkeit einer einfachen und schnellen Handhabung bei vielen Entnahmestellen und großen Entfernungen. Da die chemisch arbeitenden Rauchgasprüfer hierfür nicht brauchbar sind, wurde von einer laufenden Rauchgasprüfung in Gaswerken bis auf wenige Einzelfälle überhaupt abgesehen. Bei dem mechanisch arbeitenden Ranarex-Rauchgasprüfer werden sehr große Rauchgasmengen angesaugt, was eine sofortige Anzeige auch bei großen Entfernungen bedingt und den umschaltbaren Anschluß an beliebig viele Entnahmestellen durch gewöhnliche Rauchgasleitungen gestattet. Eine große Zahl von Gaswerken ist in letzter Zeit dazu übergegangen, die Öfen durch diesen Apparat zu überwachen, wobei Kohlenersparnisse bis zu 15 vH der zur Beheizung gebrauchten Kohlenmenge erreicht worden sind. Je nach Art der Anlage sind dabei die folgenden Anordnungen getroffen worden:

Einzelgeneratoren mit Rekuperation.

Der Ranarex-Rauchgasprüfer wird in der Mitte der Ofenfront aufgehängt (s. Bild), so daß die Anzeige auf großer Skala von weitem gut verfolgt werden kann. Die Entnahme erfolgt für die einzelnen Abgaskanäle am letzten Zug auf der Feuerungsseite des Ofens. Für je zwei Entnahmestellen wird unter Zwischenschaltung von Abstellhähnen je ein Filter angeordnet, das an eine Sammelleitung angeschlossen ist. Die Sammelleitung wird mit einem Gefälle von 1 : 20 parallel zur Ofenfront und in etwa 1 m Entfernung von der Ofenwand verlegt, um zu hohe Temperaturen zu vermeiden, die das Niederschlagen des Wasserdampfes verhindern. An der tiefsten Stelle wird die Leitung entwässert. Der Rauchgasprüfer wird unter Zwischenschaltung eines einzigen Filters an die Sammelleitung angeschlossen.

Die Einstellung der Luftklappen entsprechend dem günstigsten CO_2-Gehalt, den der Rauchgasprüfer anzeigt, geschieht im allgemeinen täglich einmal. Es werden nacheinander die verschiedenen Entnahmestellen angeschlossen, wofür bei der schnellen Anzeige des Apparates nur wenig Zeit erforderlich ist. Eine der Entnahmestellen bleibt dauernd angeschlossen, um einen Überblick über den allgemeinen Verlauf während des Vergasungsvorganges zu gewinnen und nötigenfalls bei Veränderung der Verhältnisse die Luftklappen nochmals einzustellen.

Zentral-Generatoren mit Regeneration.

Die Entnahme erfolgt aus dem Sammelfuchs vor dem Rauchgasschieber, während der Ranarex-Apparat, durch Rauchgasleitung verbunden, bei der zentralen Bedienungsstelle der Luftklappen aufgehängt wird. Bis zum Sammelfuchs findet durch eindringende Luft eine gewisse Verdünnung der Rauchgase statt. Versuche haben aber gezeigt, daß dadurch eine unveränderliche Verminderung des CO_2-Gehaltes eintritt, so daß die Einstellung der Luftklappen auf konstanten CO_2-Gehalt im Sammelfuchs wirtschaftlich richtig ist. Die Umschaltung der Entnahmestelle auf die beiden Abgaskanäle erfolgt gleichzeitig mit dem Wechsel der Gasrichtung. Der Apparat geht dabei auf kurze Zeit zurück, was durch die Registriervorrichtung aufgezeichnet wird. Das Vorhandensein einer mit dem Ranarex-Apparat zusammengebauten Registrierung, die den rauhen Betriebsverhältnissen besonders Rechnung trägt, bietet also eine erwünschte Zeitkontrolle für den Wechsel der Regeneration.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

Nr. 26 **28. JUNI 1924** **Bd. 68**

Aus dem Inhalt ★ Hauptschacht-Gefäßförderungen / Luftverflüssigungs- und Trennungsapparate / Die größte Bogenbrücke der Welt / Untersuchungen an Flügelrädern / Hausrohrpostanlagen / Gewinnung von Eisen und Koks aus Gießereihalden / Druckluftmesser / Motorschiffahrtsfragen / Kohlenstaubfeuerungen. ★ **Seite 665 bis 688**

(Vollständiges Inhaltsverzeichnis am Anfang des Textteiles)

Anzeigenpreise und Bezugsbedingungen auf Anzeigenseite 91

MARGGRAFF BLN-WILMERSDF

*Darauf kannst Du Dich verlassen, meine **RABOMA** ist stabil. An der Meßuhr kannst Du sehen, daß der Ausleger selbst bei diesem hohen Vorschub kaum nachgibt.*

RABOMA

RADIAL-BOHRMASCHINEN

Abmessungen, Formgebung, Wahl und Verteilung des Materials nach praktisch bestätigten Berechnungen gewährleisten überragende Stabilität

Raboma Maschinenfabrik

HERMANN SCHOENING

Berlin-Borsigwalde



DREYER, ROSENKRANZ & DROOP A.-G. HANNOVER

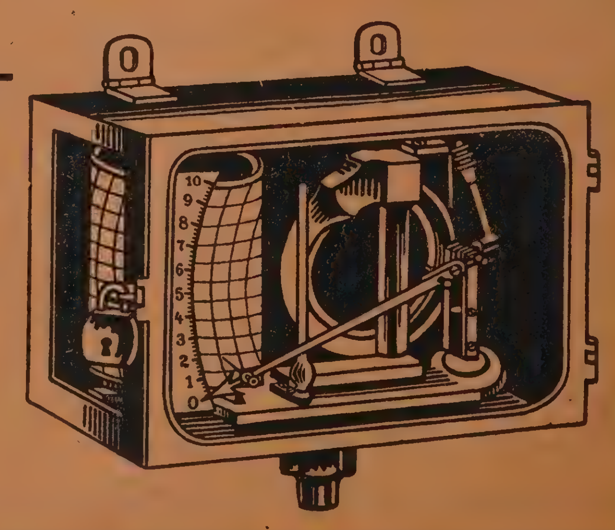


Manometer aller Art

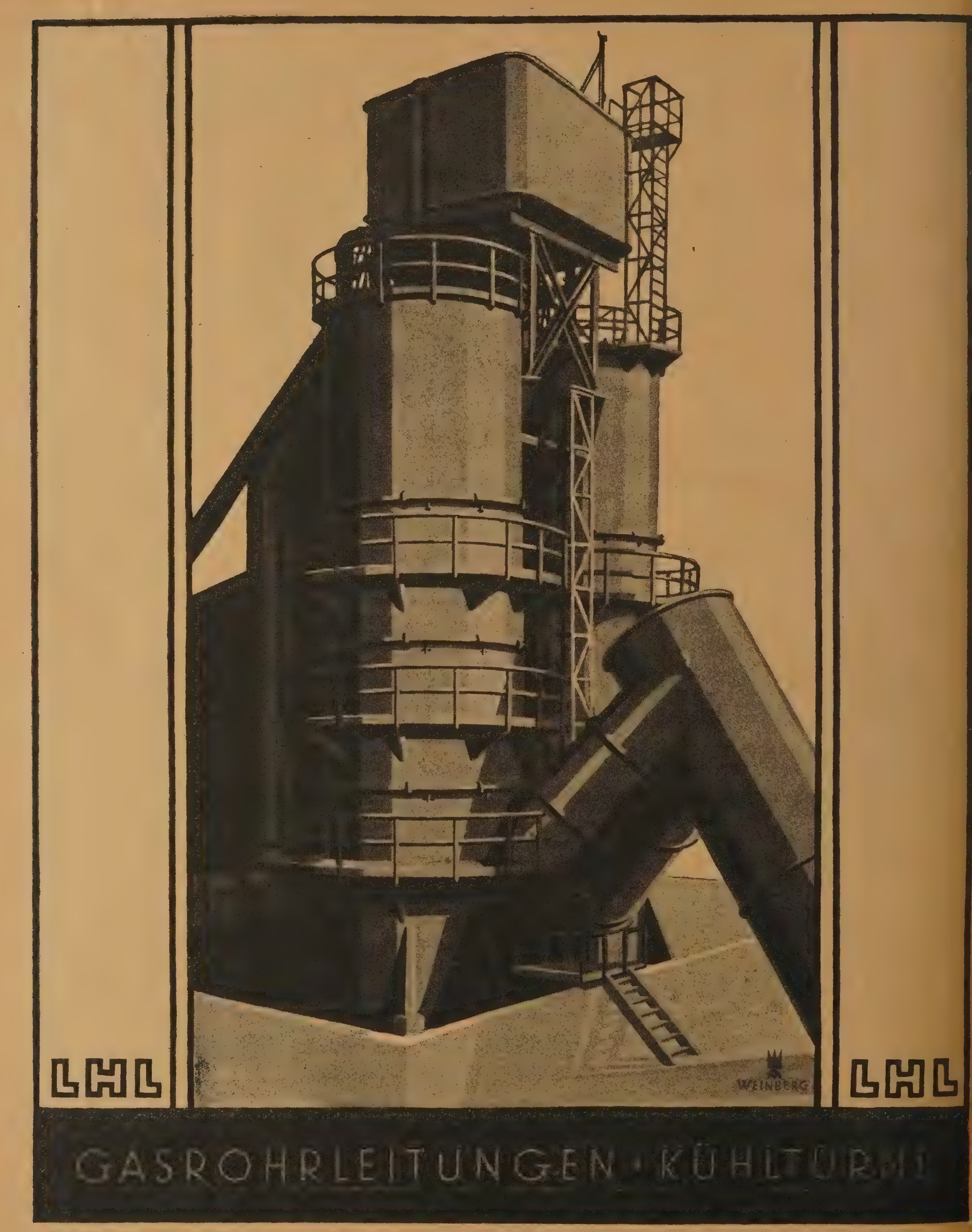
in höchster Präcisionsausführung.

Schreibzeug-Manometer

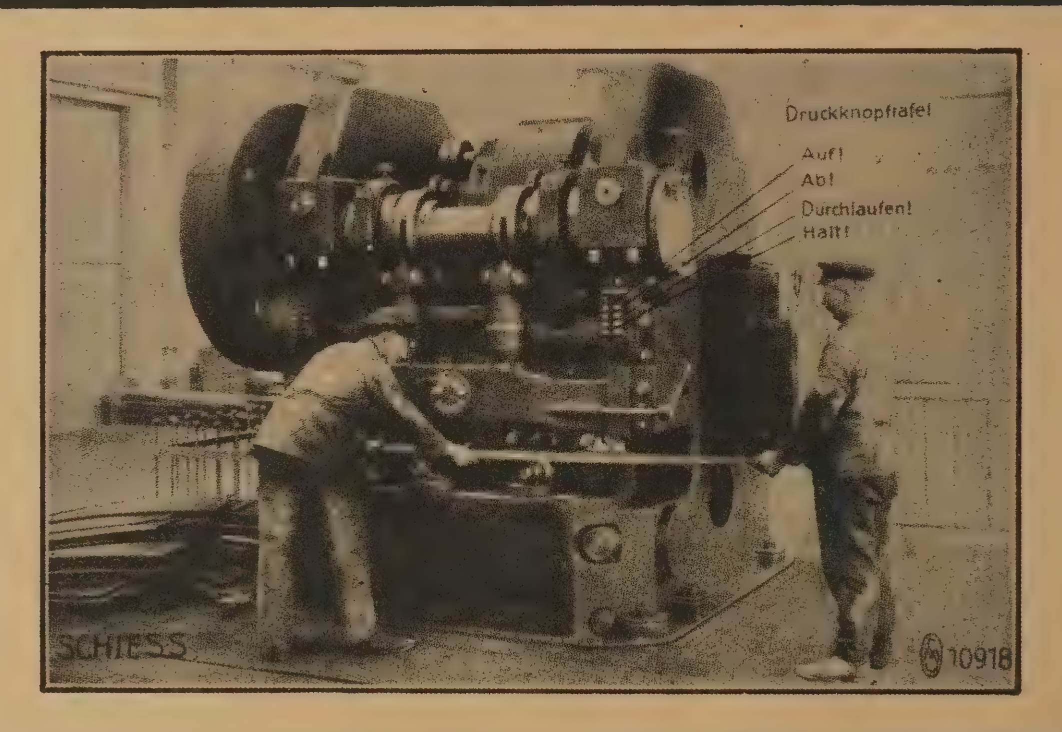
mit hängender, Wassersackbildender Röhrenfeder und Stahlspannung






LHL
LHL
WEINBERG
GASROHRLEITUNGEN · KÜHLTÜRM





Tafelschere von 1600 mm Messerlänge für Bleche bis 22 mm Stärke mit Arbeitsreglerantrieb in den mechanischen Werkstätte der Firma Paul Ferd. Peddinghaus, Gevelsberg i. W.

Unser neues Modell
Tafelschere

mit Arbeitreglerantrieb und Druckknopfsteuerung schlägt jeden Wettbewerb, da:

erhebliche Abkürzung der Schnittzeit bei dünnen Blechen
größter Zeitgewinn bei kurzen Schitten (Teilhübe),
absolute Überlastungs- und Bruchsicherheit,
höchstens 1/3 Stromverbrauch der Schwungradscheren.

Maschinenfabrik Schiess A.-G.
Düsseldorf

10183


Ehrhardt & Sehmer A.-G.
Saarbrücken
ES
Kompressoren
Wir bauen Niederdruck-Kompressoren für Liefermengen von 2000 m³ stündlich an bis zu den größten Leistungen und Hochdruck-Kompressoren für alle praktisch vorkommenden Drücke. Kennzeichen unserer Kompressoren sind ihre hohe Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Aenderung von Saugleistung und Kraftbedarf selbsttätig entsprechend der geforderten Luftmenge.
Antrieb durch Elektromotor, Dampf- oder Gasmaschine.
Dampfmaschinen, Fördermaschinen, Gasmaschinen, Oelmotoren, Kolbenpumpen, Kreiselpumpen.



HILLE-WERKE, Aktiengesellschaft,
Dresden-A. Chemnitzer Strasse 22

Abt. Dresdner Gasmotorenfabrik vorm. Moritz Hille
Diesel-, Rohöl-, Benzin- und Sauggasmotoren

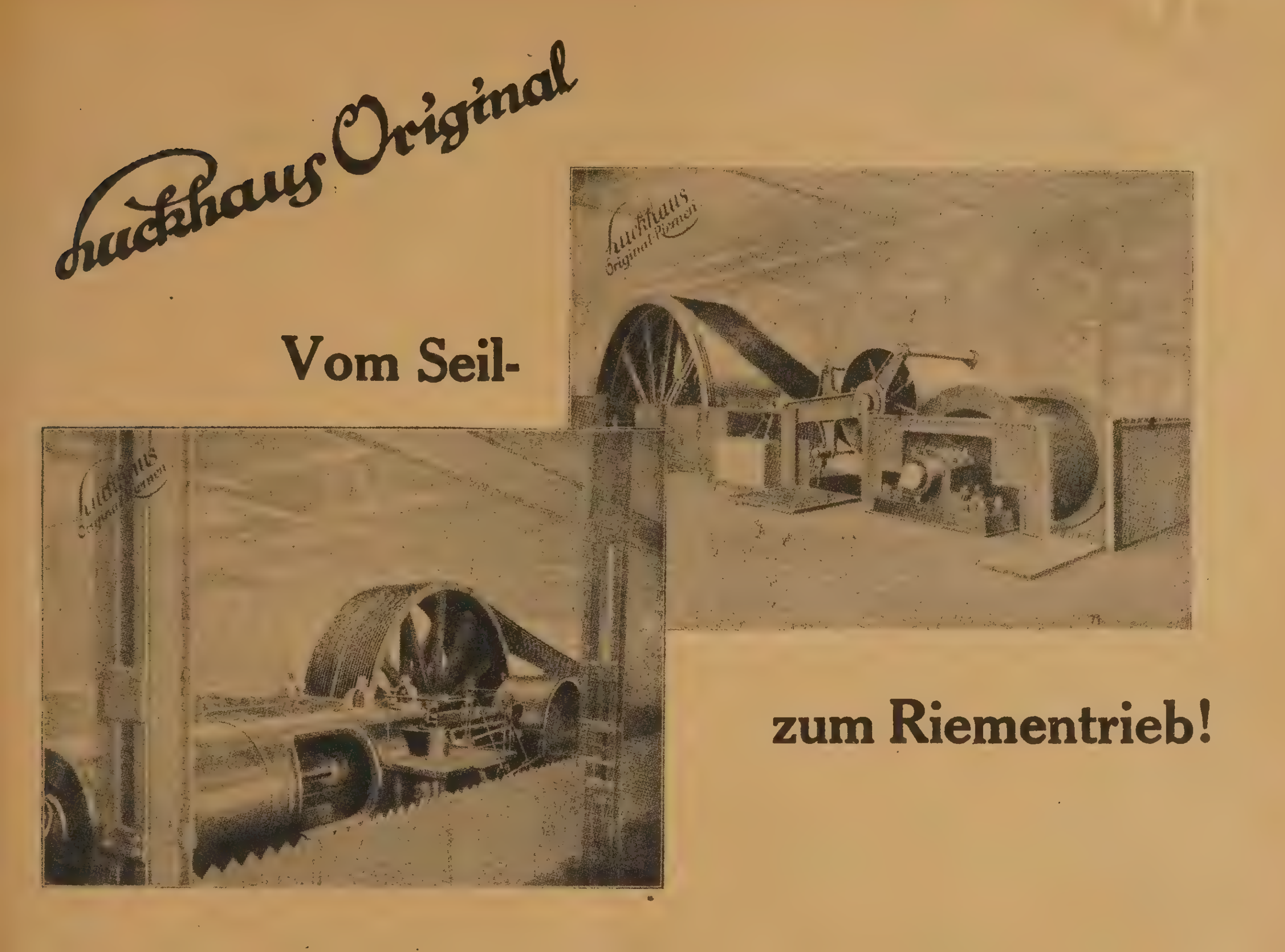
Magdeburger Werkzeugmaschinenfabrik Akt.Ges.

MAGDEBURG



SCHNELLDREHBÄNKEN


BOHRWERK-KONZERN
UNION
WETZEL
COLLET & ENGELHARD
WETZEL
BOHRWERKE
FESTER STÄNDER 90-150 m/m BORSPINDEL ⌀
KARL WETZEL GERA, R.
MASCHINENFABRIK U. EISENGIESSEREI



Das Bild links zeigt den Antrieb einer Stahlbandstraße mit 1700 PS durch 23 Seile. Zur Erzielung einer größeren Wirtschaftlichkeit wurde dieser Seiltrieb durch einen Luckhaus-Original-Spannrollenriemen von 1400 mm Breite, dreifach, ersetzt.

Durch diesen Umbau, der im übrigen keine Aenderung des Maschinenaggregates erforderte, wurde nach einwandfreier Feststellung eine Kraftersparnis von 10% erzielt, ein Betrag, der die aufgewandten Kosten in kurzer Zeit bezahlt machte und zur Verbilligung der Produktion beitrug.

Im Vergleich zur früheren Seilübertragung ist der Luckhaus-Original-Spannrollenriemen bei gleichmäßigerem und ruhigerem Lauf einfacher und billiger in der Unterhaltung.

Unsere fachmännisch durchgebildeten Vertreter stehen zwecks Erhöhung des Wirkungsgrades Ihrer Kraftübertragungsanlagen mit unverbindlichen Vorschlägen zu Ihrer Verfügung.

Leder- und Treibriemenfabriken

Ernst Luckhaus Aktiengesellschaft
DUISBURG

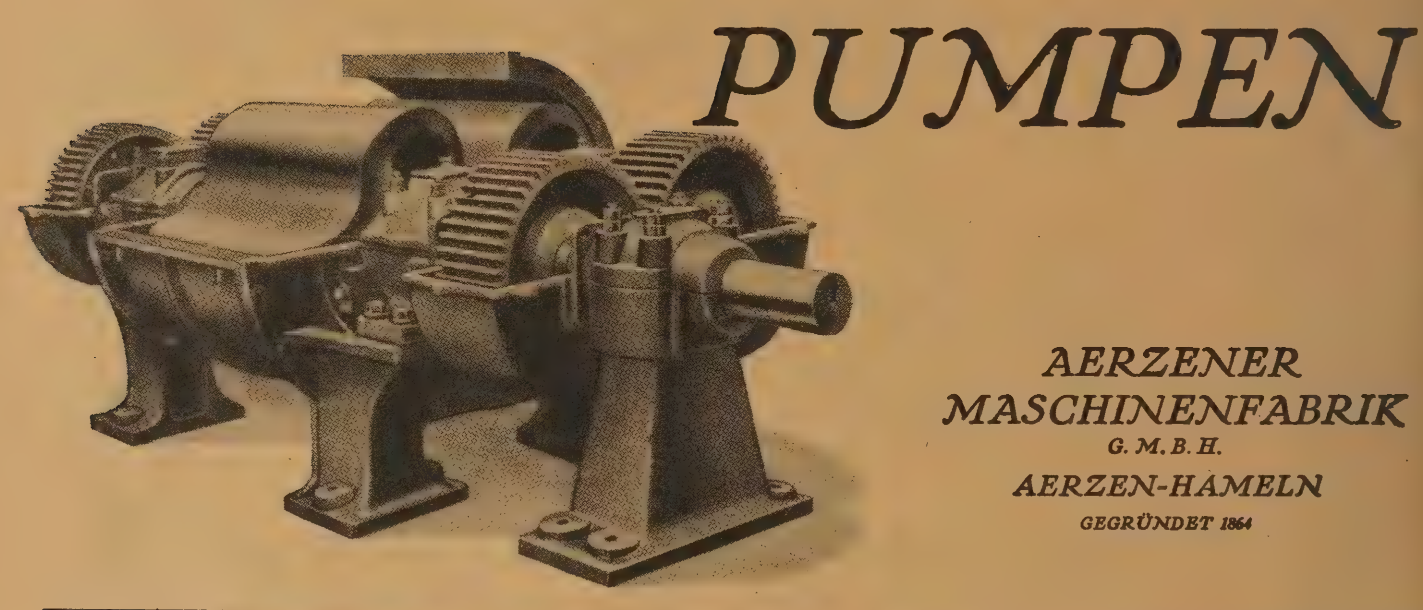
Vertreter in BERLIN: Gebr. Leutert, Friedrichstraße 43, Tel. Dönhoff 5581-2.
FRANKFURT a. M.: Walter Jürgens, Rüsterstraße 9, Taunus 4316.
Große Lager am Ort.

AN FIRMA
ERNST LUCKHAUS A.G.
DUISBURG, POSTFACH 143

Es wird gebeten um:
† kostenlose Zusendung Ihrer Berechnungstabellen.
† unverbindlichen Besuch Ihres Vertreters.

FIRMA: ______________________

______________ ______________________


PUMPEN
AERZENER
MASCHINENFABRIK
G. M. B. H.
AERZEN-HAMELN
GEGRÜNDET 1864

DEMAG

Elektro-Züge

die vorteilhaftesten Klein-Hebezeuge
= für jeden =
= Betrieb. =

Elektro-Züge

500-5000 kg Tragkraft.
Lieferbar sofort ab Lager, Wetter (Ruhr) u. Berlin.

11383

DUISBURG

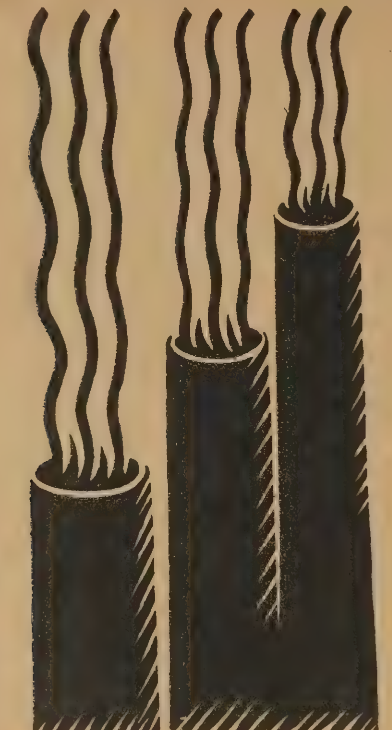
Pneumatische

FÖRDER-ANLAGEN

für Getreide, Sämereien, Öl- und Hülsenfrüchte, Kaffee, Nuß- und Staubkohle, Asche, Salze, chem. Produkte usw.



SECK A.G. DRESDEN



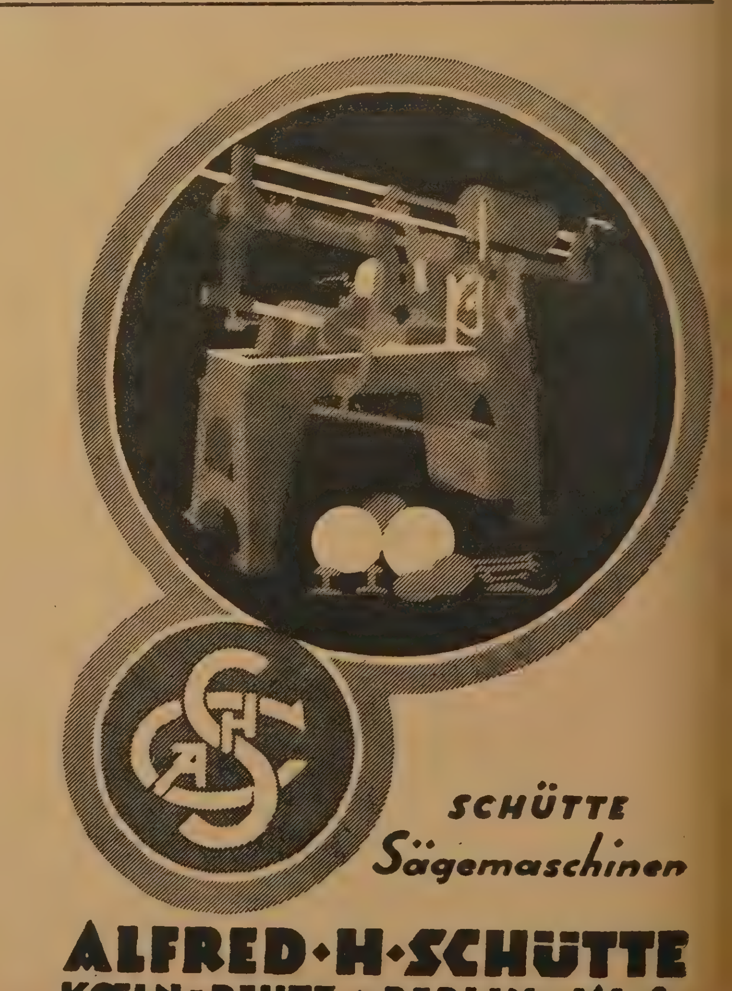
Saugzuganlagen
Zugverstärkungsanlagen
Unterwindfeuerungen
Ventilatoren
Rippenrohr-Speisewasservorwärmer
Lufterhitzer
Luftfilter
Trocknungsanlagen

DR·HANS CRUSE & CO

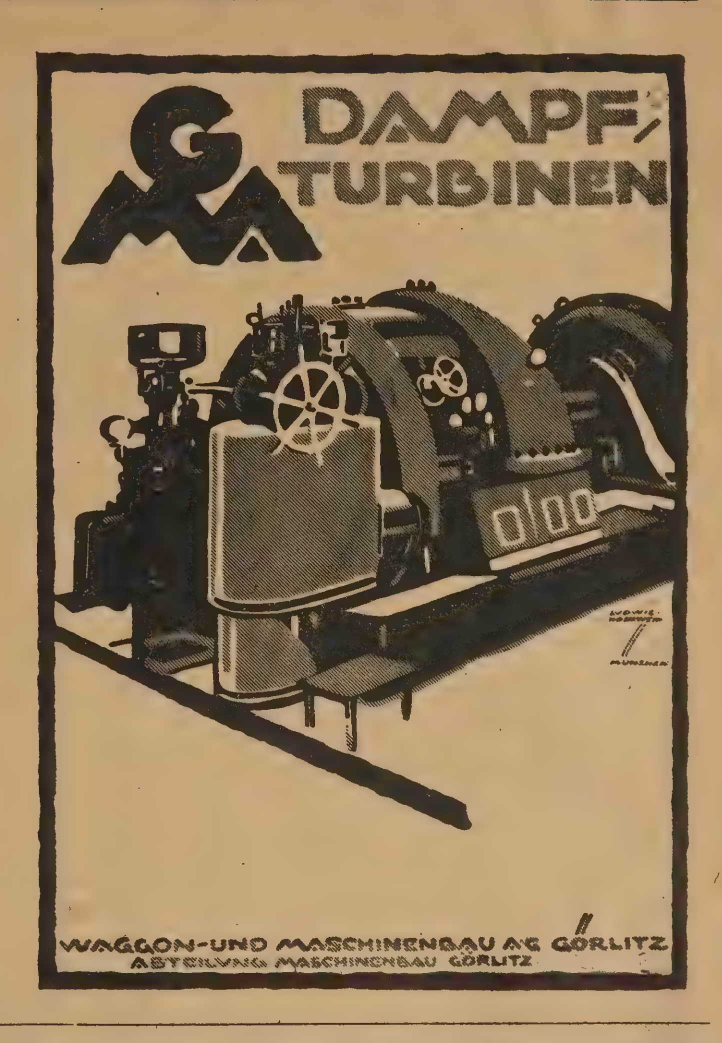
Inh. Dr. Hans Cruse & Max Brauer **BERLIN, W. 50** Geisbergstr. 29, Drahtwort: Feuerzug

Lizenznehmer für Tschechow-Slowakei, Österreich-Ungarn, Nachfolgestaaten, Balkan und Italien:
Ingenieur Oskar Pollak & Co. A.-G., Brünn, Ponavkgasse 56.






DAMPF-
MASCHINEN
WAGGON- U. MASCHINENBAU A.-G. GOERLITZ
ABT.: MASCHINENBAU GOERLITZ


DAMPF-
TURBINEN
WAGGON-UND MASCHINENBAU A.G. GÖRLITZ
ABTEILUNG MASCHINENBAU GÖRLITZ


NEU!
AGO-KRANE
NEU!
D.R.P. D.R.P.a.

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS

BEZUGSQUELLEN-NACHWEIS



Steigende
Unkosten
durch Botenlöhne:
Verlangen Sie Broschüre 38.
Ingenieurbesuch kostenlos!
Unkosten-
Ersparnis
durch
unsere Kleintransportanlagen
Rohrpost, Seilpost,
Elektropost,
Transportbänder.
JÜR GENS
Rohr-u.Seilpostanlagen
G M B H
MIX & GENEST
Berlin-Schöneberg
Älteste u. größte Spezialfirma des Kontinents



Lufthämmer
von 30 bis 600 kg Bärgewicht
Unerrreichte Regulierung und Ausladung
ALTONAER
MASCHINENBAU A.-G.
ALTONA-HAMBURG (BAHRENFELD)


VOLTA-WERKE
ELEKTRIZITÄTS-AKT.-GES.
Berlin-Waidmannslust
Fernruf Amt Tegel Nr. 3429—3432
Telegr. Voltawerke Berlin-Waidmannslust


Radio-Zubehör
Antennenlitze
aus Kupfer und Bronze
Dynamo- und Emailledrähte
Gummiaderschwachstromlitzen
mit Baumwolle, Glanzgarn und Seide
Wachsdraht
HACKETHAL
DRAHT-UND KABEL-WERKE AKT.-GES.
HANNOVER


Excentro
Dieser Gewindebohrer ersetzt einen ganzen Satz Normal-Gewindebohrer
EXCENTRIC-GEWINDESCHNEIDER G.M.B.H.
BERLIN O 112 FRANKFURTER ALLEE NR. 40
TELEFON: ALEXANDER 4556 - TELEGRAMM-ADR.: PROFITEIN


H. MAIHAK
Aktiengesellschaft
HAMBURG 39 Geibelstr. 54.
JNDIKATOREN
LEISTUNGSZÄHLER
APPARATE für techn. Messungen aller Art
SCHIFFS-TELEGRAPHEN
ARMATUREN
Drucksachen auf Wunsch

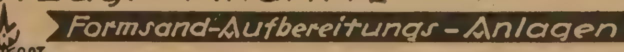

Metallförderbänder
für jedes Fördergut
LOUIS HERRMANN DRESDEN 24Fi


SIEBE
aus Profildraht
leistungsfähiger als gelöchte Bleche
LOUIS HERRMANN DRESDEN 24Si


FÜR DEN AUTOBAU
Schiebewellen
Schieberäder
gehärtet geschliffen
MASCHINENFABRIK
RHEINWERK·A·G
BARMEN LANGERFELD


PENIGER
TRANSMISSIONEN
RINGSCHMIERLAGER
MIT LOSEM ODER FESTEN GETEILTEN SCHMIERRINGEN
PENIGER
MASCHINENFABRIK
U. EISENGIESSEREI-AKTIEN
GESELLSCHAFT, PENIG (SACHSEN)


A. STOTZ A G STUTTGART 7
Gegr. 1860


Formsand-Aufbereitungs - Anlagen




EINGETRAGENE
MAGEBI
FABRIKMARKE


Magnesit-
Silika- und
Schamotte-
Steine
für die
höchsten Bean-
spruchungen.
Gebläsesand,
Formmasse,
Stampfmasse.
STELLA
Stellawerk-
Aktiengesellschaft
Homberg a. Niederrhein · Ratibor Deutsch O.-S.
Fabriken in:
Homberg a. Niederrhein · Berg.-Gladbach b. Cöln
Niederdollendorf a. Rhein · Königswinter a. Rhein
Ratibor, Deutsch O.-S. Szczepanowitz b. Oppeln, Weidenau CSR.


GIERING
ROHRLEITUNGEN
Nahtlose- u. Blech-Rohre, Formstücke
Kessel, Schornsteine, Behälter
stellt im eigenen Werk her u. verlegt
E. OTTO DIETRICH
ROHRLEITUNGSBAU-AKT.-GES.
BITTERFELD


Westfalia
ÖL-SEPARATOREN
mit neuzeitlichen Kugellagerungen
reinigen unübertroffen
gebrauchtes, schmutz- u. wasserhaltiges
Öl aller Art
RAMESOHL & SCHMIDT A.-G., OELDE IN WESTF. 149
Aelteste und bedeutendste Spezial-Separatorenfabrik Deutschlands


AZET
ELEKTRO-
FLASCHENZÜGE
ADOLF
ZAISER
MASCHINEN FABRIK
STUTTGART
AUFZÜGE - DRUCKKNOPFSTEUERUNGEN - KRANE


Fischer & Co Düsseldorf
A
Kein Zeitverlust
durch Ein- u. Ausspannen
Kein Zeitverlust
durch Einstellen der Spannbacken
Spannen- u. Einstellen
der verschiedensten Rohrgrößen
fast momentan ohne Stillstand
der Maschine durch stets
feststehendes Handrad A

Anzeigenpreise

$^1/_1$	$^1/_2$	$^1/_4$	$^1/_8$	$^1/_{16}$	Seite
360,—	180,—	90,—	45,—	22,50	Goldmark

Nachlaß:

bei 6	13	26	52 Aufnahmen innerhalb Jahresfrist
5	10	20	30 vH.

Kleine Anzeigen werden mit —,30 Mk. je mm Höhe der 30 mm breiten Spalte berechnet, Stellengesuche für Mitglieder mit —,22, für Nichtmitglieder mit —,27 Mk. je mm Höhe

Annahmeschluß für allgemeine Anzeigen: Mittwoch in der Woche vor Erscheinen; für kleine Anzeigen Montag: früh in der Erscheinungswoche.

Die VDI-Zeitschrift erscheint wöchentlich. Bezug nur durch den Verlag. Bezugspreis für 1924 ganzjährlich 40,- Goldmark, halbjährlich 21,— Goldmark, vierteljährlich 11,— Goldmark, Einzelhefte 1,75 Goldmark; für das Ausland ganzjährlich bei postfreier Lieferung 16,— U.S.A.-Dollar. Notwendigwerdende Nachforderungen vorbehalten.

Mitglieder des VDI zahlen einen ermäßigten Bezugspreis an die Geschäftsstelle des VDI.

Es gelten die Bedingungen der Arbeitsgemeinschaft technisch-wissenschaftlicher Zeitschriftenverleger ATZ, der folgende Verleger angehören: VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin. Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf. Verlag Glückauf m. b. H., Essen.

VDI-VERLAG, G. m. b. H.

VDI STELLENGESUCHE VDI

Wasserturbinen

Dipl.-Ing., 24 J., mit 1¼ J. Werkstattpraxis im Lok.- u. Waggonbau, 1 J. Konstr. u. Offerting. im Wasserturbinen- und allg. Maschinenbau, sucht neuen Wirkungskreis, Büro od. Betrieb, z. Zt. ungekündigt.
Angebote unter **Z. 8908** an den Verlag d. Ztschr.

Ingenieur-Kaufmann

31 J., verh., Akadem., Wohns. Barmen, 8 J. selbst. in Masch.-Bau u. Kleineisenind., m. allen kaufm. Arb. vertraut, bilanzsicher, franz. u. engl. Sprachk., sucht entwicklungsfähige **Vertrauensstellung** evtl. Reise, Ein- und Verkauf, Alleinvertr.
Angebote unter **Z. 8884** an den Verlag d. Ztschr.

Diplom-Kaufmann und Ingenieur

bisher im Maschinen-Export tätig, mit engl., franz. u. span. Sprachkenntnissen, sucht passende Stellung. (8895)
Off. unt. **H. B. 8971** an **Rud. Mosse, Hamburg 1.**

Älterer
Betriebsleiter
guter Organisator,
mit außergewöhnl. viels. besten Erfahrungen moderner Fabrikation, Inhaber mehrer. Patente, sucht Gelegenheit, selbst. einen kleinen bis mittleren Betrieb für Allgem.-, Werkzeug- oder Landwirtsch.-Masch.-Bau rentabel zu gestalten.
Angeb. unt. **Z. 8766** an d. Verlag d. Ztschr. erb.

Ingenieur

30 Jahre alt, Absolv. staatl. höher. Masch.-Schule, im Kri g Ing. in Kriegsmar., 2 J. Konstrukt.- u. Montageing., 3 Sem. Techn. Hochsch., z. Zt. Assist. an Techn. Hochschule sucht aussichtsr. Stellg., am liebst. Assist. v. Betriebschef, aber auch andrw. **verantw Posten.**
Gefl. Zuschr. unter **Z. 8915** an d. Verlag d. Zeitschrift.

Diplom-Ingenieur

(Dr.-Ing. in spe), 26 J., ledig, T. H.-Charlottenburg, 1½ Jahre Büro im Gasfach, z. Zt. mit Dissertation beschäft., sucht ausbaufäh. Stellung in Verwaltung oder Betrieb, mögl. als Direktorial-assistent.
Gefl. Zuschr. u. **Z. 8899** an den Verlag d. Ztschr.

Masch.-Ingenieur

30 J. alt, led., gewandt u. m. mehrj. Tätigk. in d. Montage u. Durcharbeitg. v. Projekt. f. d. Cokosbutter-, Öl- u. Seifenindustr., Konstrukt. bzw. Berechng., Umbau u. Reparatur von chem. Apparat., Masch., Rohrltgsbau aller Art, Eisenkonstr., Behälter u. Transmission, vertraut m. elektr. Licht- u. Kraftanlagen, techn. Briefwechsel u. Kalkulation, sucht Stellung in Betrieb od. Büro. Angeb. unter **Asl. 10 562** an die **Ala, Berlin W 35** erbeten. (8594)

Dipl.-Ingenieur

sucht Anfangsstelle im Betrieb oder Büro.
Offerten unter **Z. 8879** an den Verlag d. Ztschr.

Dipl.-Ing.

früherer Offizier, 30 J., verheiratet, strebsam, in ungekündigter sicherer Position, gewandt, sicheres Auftreten, mehrjährige Praxis in wärmetechnischem Projektenbüro und Beratungsstelle eines Weltkonzerns, vertraut mit sämtl. Kraftwerksfragen und maschinentechnischen Messungen, m. gediegenen kaufmännisch. Kenntnissen u. Erfahrg. in der Weberei, sucht sich von Berlin fort in nur aussichtsreiche u. leitende Stellung jeder Industrie zu verändern. Gute Zeugn. u. beste Refer. stehen zur Verfügung.
Angebote unter **Z. 8889** an den Verlag d. Ztschr.

Kältemaschinenbau

Dipl.-Ing., 24 J., Erfahrung im Projektieren v. Kühlanlagen, gewandt u. repräsentativ, mit Beziehungen zu Kälte verarbeitendem Gewerbe, sucht Stellung für Büro und Reise.
Zuschriften erbet. unt. **Z 8848** an den Verlag d. Zeitschrift.

Maschinen-Ingenieur

mit Hochschulbild., 27 J. alt, ledig, 2 Jahre Werkstattpraxis, 2½ Jahre Büro, zurzeit im Industrieofenbau tätig, sucht sich zum 1. Juli zu verändern.
Angebote unter **Z. 8887** an den Verlag d. Ztschr.

Ingenieur

25 Jahre alt, arbeitsfreudig, ledig, Absolv. der staatl. höh. Maschinenbauschule Dortmund, mit 3 J. Werkst. u. 2½ J. Konstruktionspraxis in Eisen-, Hoch- und Brückenbau, sucht zum 1. Juli Büro- od. Betriebsstellung evtl. Montage.
Offerten unter **Z. 8905** an den Verlag d. Ztschr.

Ingenieur

27 J., 5 Sem. Techn. Hochschl., parallel 4 Sem. Handelshochschl Rußland. Volle deutsche Fachschulbildung, 2,5 J. bei gr. deutsch. Masch.-A.-G. tätig. Intelligent, schriftgew., kaufm., techn. u. organisat. fähig. Beste Zeugnisse u. Referenzen, spez. in Fabrikeinrichtung u. Betriebsüberwachung, sucht Stellung als Betriebs-, Montage-, Reise- oder Offerting. (8877)
Off. u. **T. Y. 493** an **Rudolf Mosse, Königsberg i. Pr.**

Leitende Stellung

sucht langjähr. Obering., Prokurist und Leiter erster Maschinenfabriken, bewährter Fachm. d. Maschinenbaues, Spezialist f. Verbrennungsmot., Wärmewirtschaft und Transmissionen, mit reichen Erfahr. in kaufm. Verwaltung, Organisat., Verkauf, Export und Reise. Gewandt, repräsentationsfähig. Gef. Angeb. unter **Z. 8918** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Diplom-Ingenieur

des Maschinenbaues mit 5jähriger Praxis (Werkstattbau, Elektrotechnik, Lokomotivbau) sucht für sofort Stellung im Konstruktionsbüro oder Betrieb.
Angebote unt. **Z. 8890** an den Verlag d. Ztschr.

VDI STELLENANGEBOTE VDI

Lokomotiv-Konstrukteure

mit guter Schulbildung, welche über mehrjährige Praxis sowie über große Erfahrung im Entwurf und der Konstruktion von

elektrischen und Dampf-Lokomotiven

verfügen, zum möglichst sofortigen Eintritt von erster Lokomotivfabrik gesucht.

Nur Bewerber, die obigen Bedingungen voll entsprechen, werden um ausführliche Angebote mit Zeugnisabschriften, Lichtbild Angabe der Gehaltsansprüche und des frühesten Eintrittstermins unter **Z. 8821** an den Verlag dieser Zeitschrift gebeten.

Große rheinische Kesselfabrik sucht für ihre Konstruktionsbüros zwei tüchtige, gewandte

Zeichner

zum Kopieren von Kessel- und Feuerungszeichnungen. Ausführliche Angebote mit Zeugnisabschriften sind zu richten unter **Z. 8834** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Werkstätten-Vorkalkulator

vertraut mit der Festsetzung von Zeitbestimmungen für Zeitakkorde, besonders für spahnabhebende Maschinen, gesucht. Angebote von erfahrenen

Zeitstudienbeamten

Technikern oder spezialvorgebildeten Meistern unter **Z. 8897** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Erfahrener Ober-ingenieur

für den Bau von Pressen und sonstigen Blechbearbeitungsmaschinen wird von einer Spezialfirma in der

Tschecho-slovakei

aufgenommen.
Offerten unter **Z. 8909** an den Verlag d. Ztschr.

Stellungsuchende
lesen den

Stellen-Eil-Dienst

Sammlung sämtlicher Stellenangebote
für Ingenieure und Naturwissenschaftler jeder Fachrichtung aus den Tages- und Fachzeitschriften erscheint zwei- bis dreimal wöchentlich

im letzten Monat **über 3000 Stellenangebote darunter ca. 300 für das Ausland**

Vorzugspreis für VDI-Mitglieder herabgesetzt auf monatlich Mk. 7.—
zu beziehen gegen Voreinsendung durch:
Zentralstellennachweis für naturwissenschaftlich-technische Akademiker, Abteilung Berlin.
Oberingenieur C. Bungart, Berlin NW 87, Tile Wardenbergstr. 27
Postscheckkonto Berlin 81096 (8881)

Ein **großes rheinisches Elektrizitätswerk** sucht für die Betriebsführung seiner Zentralen einen

tüchtigen INGENIEUR

Es kommen nur Bewerber in Frage, welche umfassendste, praktische Erfahrungen im Betrieb großer Dampfturbinen, Hochleistungskessel und Hochspannungsanlagen haben, die erforderliche kaufmännische Eignung besitzen und ihre Befähigung zur selbständigen Betriebsleitung derartiger großer Anlagen durch Zeugnisse über ähnliche Tätigkeit genügend nachweisen können.
Gefl. Angebote unter Beifügung eines kurzen Lebenslaufes, Zeugnisabschriften und Angabe der Gehaltsansprüche sind zu richten unter **Z. 8865** an den Verlag dieser Zeitschrift. (8865)

Für unsere Technische Abteilung suchen wir zum sofortigen Antritt

mehrere

Techniker

möglichst mit Erfahrungen im Baggerbau bzw. Hebezeugbau.

Schriftliche Bewerbungen unter Beifügung eines Lebenslaufes und Zeugnisabschriften an (8904)

Menck & Hambrock G. m. b. H., Altona-Ottensen, Gr. Brunnenstr. 78.

Fabrik landw. Maschinen sucht zu baldmöglichstem Eintritt einen durchaus tüchtigen (8874)

Betriebsleiter

der eine mehrjährige Tätigkeit in der Branche nachweisen kann, mit dem Bau von Landmaschinen, insbesondere Sämaschinen usw. und allen einschlägigen Reparaturen eingehend vertraut ist und Erfahrungen im allgemeinen Maschinenbau besitzt. Reflektiert wird auf eine erste Kraft, die in der Lage ist, einen größeren Betrieb wirtschaftlich zu gestalten und auf der Höhe zu halten, mit den neuzeitlichen Arbeitsmethoden vertraut ist, das Lohn- und Akkordwesen beherrscht und zielbewußt und energisch im Verkehr mit der Arbeiterschaft ist. Ausführliche Angebote mit Gehaltsansprüchen sind unter **Z. 8874** an den Verlag dieser Zeitschrift zu richten.

Wir suchen einen theoretisch und praktisch gut ausgebildeten

INGENIEUR,

der sowohl in unseren drei Kraftwerken als auch bei unseren Stromabnehmern Untersuchungen an Dampfkesseln, an Antriebsmaschinen für Gas, Wasser und Elektrizität und an Arbeitsmaschinen ausführen kann und auf diesem Gebiet der Untersuchung und Prüfung von Maschinen nachweislich gut bewandert ist.

Ferner wird für unser Kraftwerk Tschechnitz ein

erfahrener

TECHNIKER

mit Kenntnissen in der Elektrotechnik und allgemeinem Maschinenbau für Anfertigungen von kleinen Entwürfen und Zeichnungen gesucht.

Angebote mit Gehaltsansprüchen, Zeugnissen, Referenzen, Lichtbild und frühestem Antrittstermin erbitten wir an (8892)

Elektricitätswerk Schlesien Aktiengesellsch., Zentralverwaltung Breslau, Albrechtstr. 22/23.

Gemischtes Hüttenwerk in Deutsch-Oberschlesien sucht zur Unterstützung des Oberingenieurs, welchem der Betrieb der maschinellen Einrichtungen, die elektrischen Anlagen und der Baubetrieb unterstehen, einen **Maschineningenieur** mit abgeschlossenem Studium an einer Hochschule oder höheren Maschinenbauschule als

Betriebschef

Er muß befähigt sein, den gesamten Maschinenbetrieb der Abteilungen Kokerei, Hochofen, Stahl- und Walzwerk selbständig zu leiten und in techn. und wirtschaftl. Beziehung schöpferisch weiter entwickeln zu können, was eine langjährige erfolgreiche Praxis auf Hüttenwerken voraussetzt.

Ferner einen

Betriebs-ingenieur

für Instandhaltung, Überwachung und Modernisierung der Maschinen- und Krananlagen des Martinstahl- und Walzwerkes. Für den Posten kommen nur Herren mit abgeschlossenem Studium an einer Hochschule oder höheren Maschinenbauschule und nachweisbar erfolgreicher Tätigkeit und langjährigen Erfahrungen auf diesem Gebiet in Betracht.

Angebote mit handschriftlichem Lebenslauf, Lichtbild, Zeugnisabschriften, Angabe von Empfehlungen, der Gehaltsansprüche und des frühesten Eintrittstermins sind unter **Z. 8902** an den Verlag dieser Zeitschrift zu richten.

Für Projektierung u. Ausführung von **Kohlentrocknungs- und Aufbereitungsanlagen** erfahrener

Ingenieur

von größ. rheinischer Dampfkessel- u. Maschinenfabrik gesucht. Kenntn. in **Kohlenstaubfeuerungen u. pneumatischer Förderung von Kohlen und Staub** erwünscht, aber nicht Bedingung.

Angebote mit Lebenslauf u. Zeugnisabschriften unter **Z. 8893** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Technische Oberschule Hildburghausen

(Staatl. höhere Fachschule für Maschinenbau und Elektrotechnik).

Am 1. Oktober 1924 ist die Stelle eines

Fachlehrers

für **Volkswirtschaftslehre und Staatsbürgerkunde** vorläufig probeweise zu besetzen.

Diplom-Ingenieure mit volkswirtschaftlichen Studien oder Diplom-Volkswirte mit technischer Praxis und Kenntnissen in der **englischen Sprache** wollen ihre ausführlichen Bewerbungsschreiben bis zum 15. Juli an das (8910)

Thüringische Ministerium für Volksbildung u. Justiz, Abteilung Volksbildung in Weimar,

einreichen.

Für den Außendienst suchen wir tüchtigen

Versuchs-Ingenieur

mit mehrjähriger praktischer Tätigkeit im Dampfkessel- und Feuerungsbau. In Frage kommen nur Bewerber mit besonderen Erfahrungen als Versuchs- und Abnahmeingenieure. Angebote mit selbstgeschriebenem Lebenslauf, Zeugnisabschriften, Angabe von Referenzen u. Gehaltsansprüchen an (8896)

L. & C. Steinmüller, Gummersbach (Rhld.).

Ingenieur

mit umfassenden Erfahrungen im Bau und Betrieb neuzeitiger

Zement-Fabriken

sowie auf dem Gebiete der

Hartzerkleinerung

für Büro und Reise gesucht. Sprachkenntnisse erforderlich. (8826)

Nur erste Kraft kann berücksichtigt werden.

Fried. Krupp Grusonwerk A.-G. Magdeburg-Buckau.

Gesucht für chemische Fabrik Groß-Berlins

junger

INGENIEUR

als Hilfskonstrukteur und Betriebsassistent, flotter und sauberer Zeichner. Eintritt zum 1. Oktober.

Angeb. unter Beifügung von Zeugnisabschr. erbeten unt. **Z. 8882** an den Verlag d. Ztschr.

Diplom-Ingenieur

auch jüngerer, flotter Konstrukteur und Zeichner, bewandert im Bau schnellaufender Maschinen, speziell Zerkleinerungsmaschinen, bevorzugt mit Erfahrungen im praktischen Fabrikbetriebe, nach Berlin-Cöpenick gesucht. Ausführliche Angebote mit Gehaltsansprüchen, Zeugnissen und Referenzen unter **Z. 8683** an den Verl. d. Ztschr.

Wir suchen für unsere **Leichtmetallpresserei** einen tüchtigen

FACHMANN

(Alter bis zu 35 Jahren), der langjährige Erfahrungen im Entwerfen und der Herstellung von G e s e n k e n der Messingpresserei haben muß und ihre Anfertigung in der Werkstätte selbst überwachen kann. Angebote mit Lichtbild, Zeugnisabschriften, Lebenslauf, Referenzen, Gehaltsansprüchen und Angabe des frühesten Eintrittstermins erbeten unter F. T. 10815 an Ala-Haasenstein & Vogler, Frankfurt a. M. (8768)

Patent-ingenieur

mit einiger Praxis von Patentanwaltsbüro gesucht. Off. mit Gehaltsanspr. unter **Z. 8885** an den Verlag d. Ztschr.

Eine große Gießerei (Rohr- und Maschinenguß) in der Č. S. R. sucht einen akademisch gebildeten, energischen

Betriebsassistenten

Herren, welche Angehörige der Č. S. R. sind, sich mindestens mit einer 3jährigen Praxis ausweisen können und die tschechische Sprache zumindest im Worte beherrschen, wollen ihre mit Angabe des Lebenslaufes und der Gehaltsansprüche belegten Gesuche unter **Strebsam 1000/Z. 8875** an den Verlag dieser Zeitschrift einreichen.

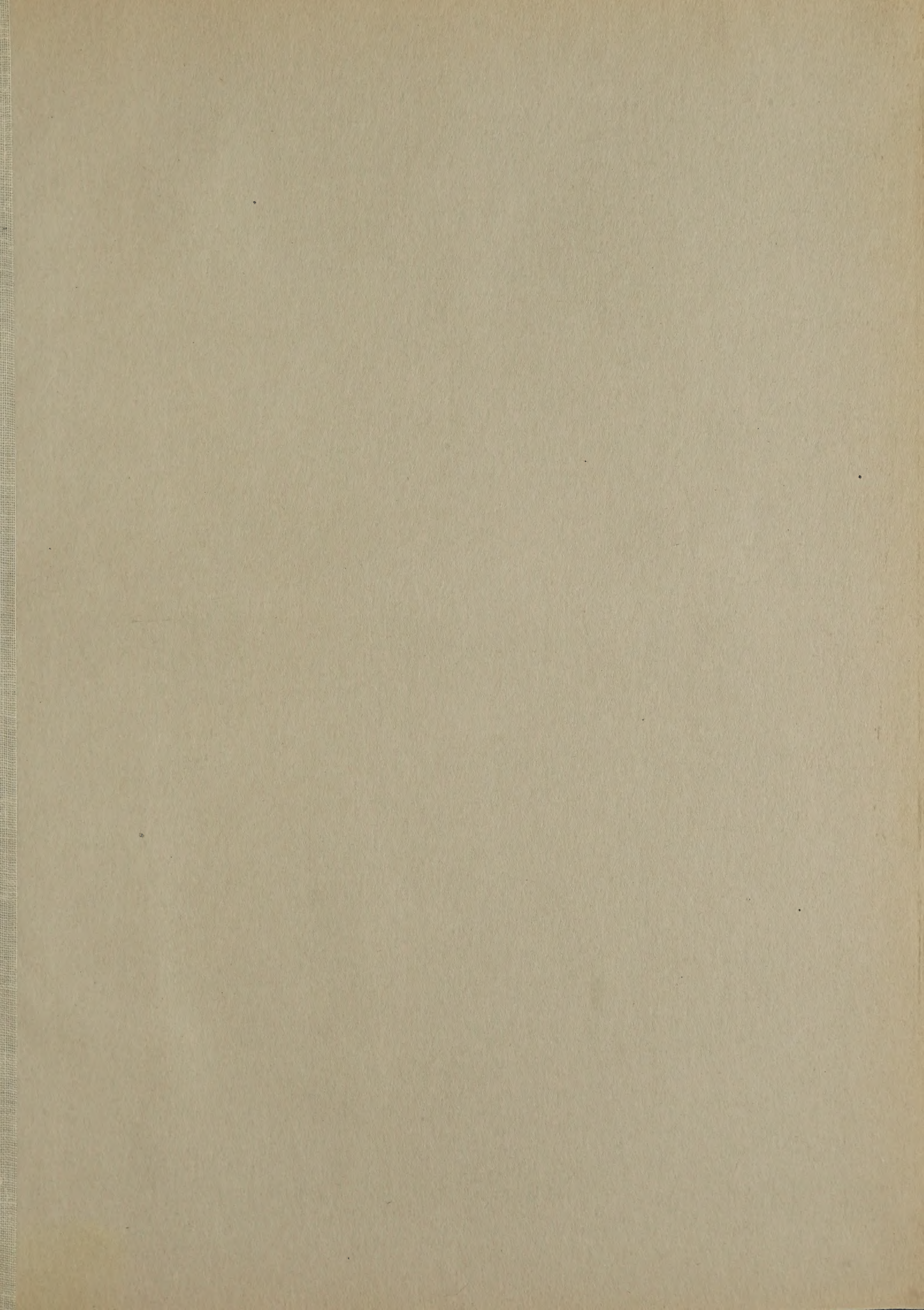
Dieser Nummer liegen Prospekte der folgenden Firmen bei:

Akt.-Ges. für Feuerungstechnik, Ludwigshafen a. Rhein.
Gewerkschaft Orange, Gelsenkirchen.

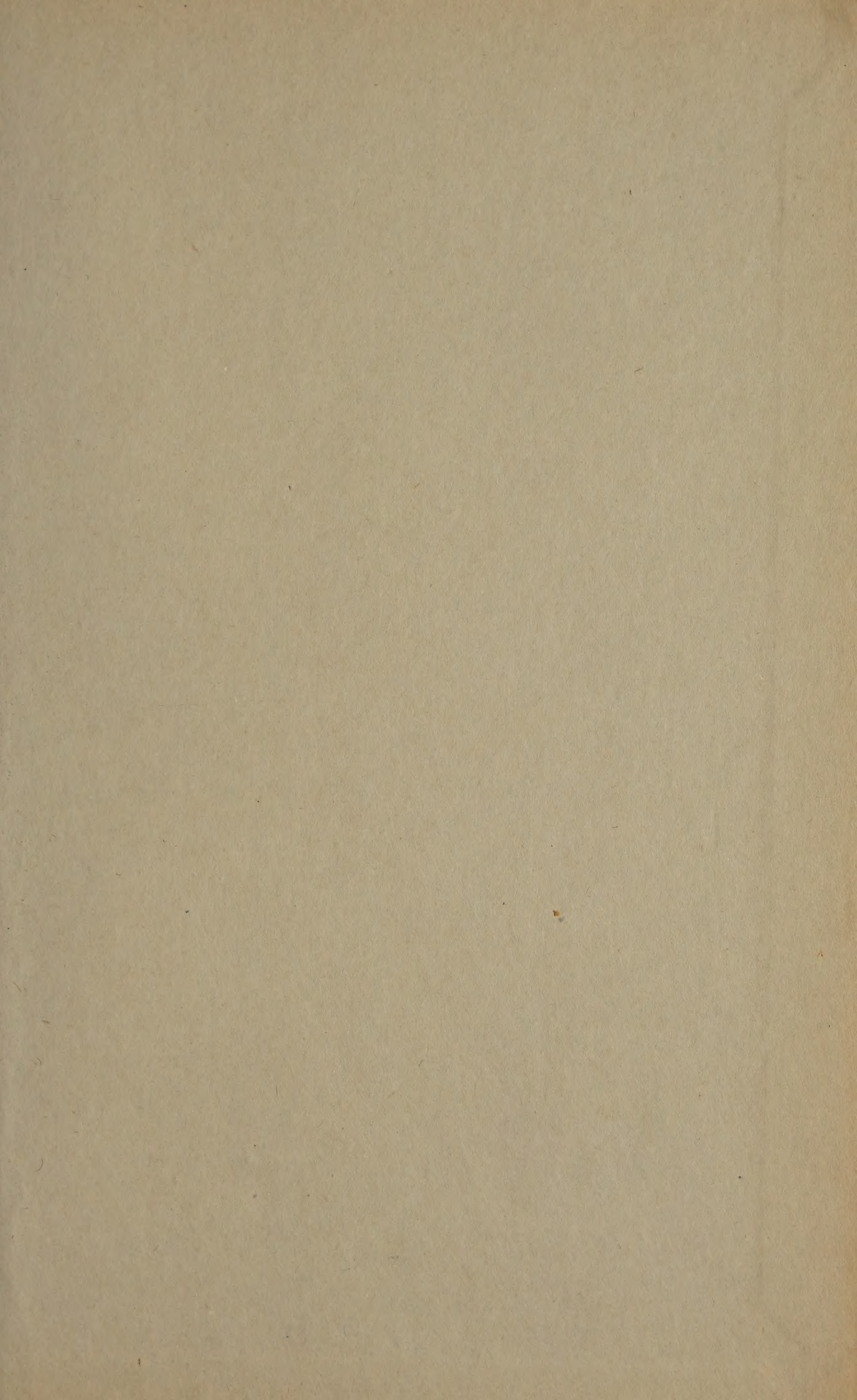
VDI-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, Beuthstr. 7. — Verantwortl. für die Schriftltg.: C. Matschoß, Berlin, für den Anzeigenteil: Carl Zillmann, Neukölln.
Druckpapier von Freytag & Petersen, Berlin SO 26. Druck von H. S. Hermann & Co., Berlin SW 19.

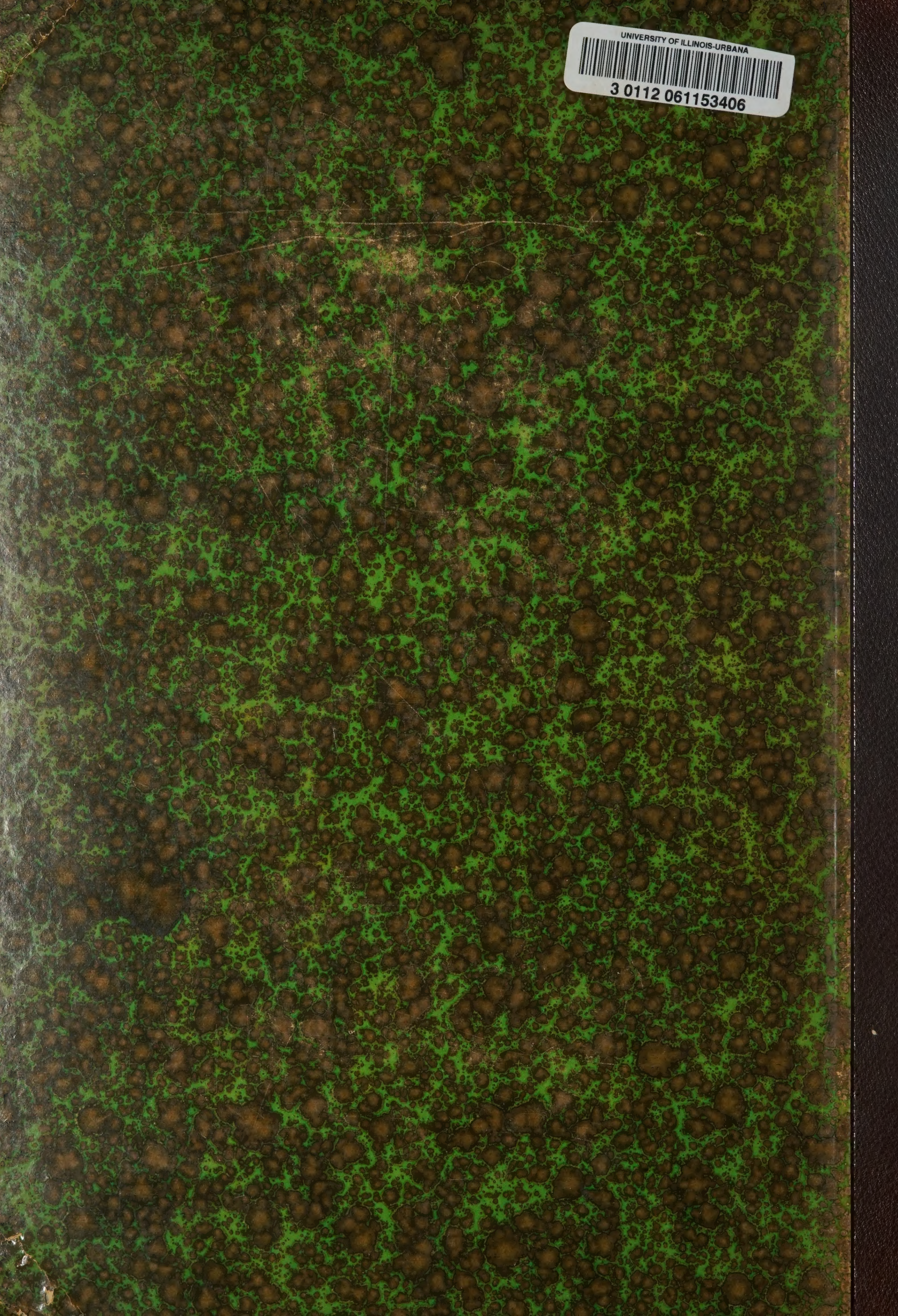











UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 061153406